

# ZONEAMENTO GEOTÉCNICO, POR SENSORIAMENTO REMOTO, PARA ESTUDOS DE PLANEJAMENTO DO MEIO FÍSICO - APLICAÇÃO EM EXPANSÃO URBANA

RICARDO VEDOVELLO  
JUÉRCIO TAVARES DE MATTOS

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515  
12201-970 São José dos Campos, SP, Brasil

**Abstract.** This study aims to obtain a geotechnical survey using visual interpretation of orbital images. Three stages are identified. The evaluation of the results shows that the procedure adopted has a great potential in the obtaining of geotechnical mapping.

## Introdução

As atividades humanas (agricultura, obras de engenharia civil, mineração, etc.) sobre a superfície terrestre diversas vezes apresenta-se problemática devido a ocorrência de fenômenos geodinâmicos tais como escorregamentos, enchentes, colapsos de terrenos, tremores, etc., os quais podem ser naturais ou induzidos pelo uso e ocupação.

Independente de serem naturais ou induzidos, os problemas decorrentes da interação entre a ação antrópica e o meio físico são causados principalmente pela não consideração das limitações e aptidões desse meio. Neste sentido, identifica-se o mapeamento geotécnico como um importante mecanismo de análise ambiental o qual objetiva harmonizar o uso e ocupação da terra pelo homem.

Como mapeamento geotécnico compreende-se o conjunto de procedimentos (fotointerpretação, inventários, trabalhos de campo, análises e ensaios

físico-químicos "in situ" ou laboratoriais, etc.) executados com o objetivo de obter informações de caráter geotécnico. Tais informações referem-se ao levantamento de propriedades e características do meio físico geológico, que sejam determinantes do comportamento dos materiais que compõem esse meio (solos, rochas, etc.), frente às solicitações impostas pelas atividades humanas.

Entre os tipos de mapeamento geotécnico destaca-se o zoneamento para uso geral como o mais adequado para embasar estudos de planejamento sobre o meio físico.

Em linhas gerais, o zoneamento geotécnico consiste na delimitação de áreas do terreno que possuam propriedades geotécnicas definidas e que apresentem um mesmo comportamento frente às formas de intervenção humana.

Dessa forma, para a obtenção do zoneamento é necessário não só compartimentar o terreno mas também caracterizar as áreas individualizadas quanto às suas

propriedades geotécnicas.

Assim, para a realização de um zoneamento geotécnico são determinadas duas etapas básicas (compartimentação fisiográfica e caracterização geotécnica) as quais integradas em uma etapa posterior resultam em uma cartografia final subsidiária ao planejamento do meio físico.

Destaca-se que a compartimentação fisiográfica consiste em subdividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas. Tal compartimentação pode ser efetuada em diferentes escalas, sendo comum a determinação de "classes" de unidades fisiográficas que englobam outras (em escalas maiores) ou por outras são englobadas (em escalas menores).

Já a caracterização geotécnica caracteriza-se como um conjunto de procedimentos realizados com o objetivo de se obter dados (propriedades e características) geotécnicos sobre as unidades de compartimentação, dados esses que sejam básicos para embasar a análise dessas unidades segundo o uso a que se destinem.

Neste trabalho, é sugerido um procedimento pelo qual as etapas de compartimentação fisiográfica e caracterização geotécnica são obtidas a partir da análise/interpretação de imagens de satélite.

A área de estudo escolhida compreende uma região litorânea situada no extremo leste do estado de São Paulo junto à divisa com o Rio de Janeiro e situa-se entre as coordenadas 23°10' e 23°37' de latitude sul

e 45°20' e 44°43' de longitude oeste.

### Procedimento

O procedimento adotado na execução deste trabalho pode ser subdividido em quatro fases principais, as quais são apresentadas a seguir:

#### 1ª Fase: Pesquisa Preliminar:

Nesta etapa foram executadas atividades que visavam a aquisição e análise de dados pré-existentes sobre a fisiografia e aspectos sócio-econômicos da área de estudo.

Paralelamente a esses estudos iniciais foram selecionados e adquiridos os produtos de sensoriamento remoto.

Os produtos do TM-Landsat utilizados foram adquiridos em: papel na escala 1:100000 (visando a extração de informações e servindo como base para a elaboração da cartografia final); e transparências positivas (obtidas na escala 1:1000000, com a finalidade de ser ampliada no projetor PROCON) visando a compatibilização dos dados pré-existentes (adquiridos em diversas escalas).

Utilizou-se uma cena com órbita/ponto 218/76S obtida em 20/08/88. Essa cena apresenta azimute 051° e ângulo de elevação solar de 38°.

As bandas da cena TM-Landsat utilizadas foram 3, 4, e 7 bem como uma composição colorida com as bandas 4, 5 e 7 (associadas respectivamente às cores vermelho, verde e azul). A interpretação visual, visando

a realização das segundas e terceiras fases, foi realizada basicamente na banda 4. As demais bandas e a composição colorida bem como as fotografias aéreas foram utilizadas auxiliarmente para a demarcação de limites fotointerpretativos de difícil caracterização na banda 4.

A banda 3 e as fotografias aéreas foram utilizadas ainda na orientação dos trabalhos de campo. Utilizou-se ainda, cartas topográficas do IBGE na escala 1:50000 e reduções destas em transparências na escala 1:100000. As cartas utilizadas foram: São Luís do Paraitinga, Natividade da Serra, Caraguatatuba, Lagoinha, Ubatuba, Ilha Anchieta, Cunha, Picinguaba, Parati e Juatinga.

#### 2ª Fase: Compartimentação Fisiográfica:

A compartimentação da área consistiu em identificar nas imagens divisões fisiográficas em diferentes níveis hierárquicos relacionados às condições morfoambientais e genéticas da região.

Foram estabelecidos informalmente quatro níveis taxonômicos: Província, Zona, Subzona e Unidade. A relação entre os níveis taxonômicos utilizados e as características fisiográficas são as seguintes:

- Província: a divisão em província é determinada pelas diferentes formas de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à modelagem tectono-climática a nível regional. Correspondem assim a compartimentos tectônicos atuais, os quais englobam regiões com diversidade genética submetidas agora às mesmas condições climáticas na

regência de sua evolução.

- Zona: a determinação de zonas é feita em função da forma de ocorrência dos elementos fisiográficos relacionados à variações tectono-estruturais e de idade geológica. São então áreas correspondentes à grupos de rochas que apresentam diferenças de ordem genética e de evolução tectônica, e que portanto oferecem "resistência" diversa a modelagem tectono-climática.

- Subzona: é uma compartimentação realizada com base nas formas de ocorrência dos elementos do meio físico determinadas por diferenças litoestruturais ou de sistemas de relevo ou de processos deposicionais. Constituem então áreas definidas em função do tipo litológico, da morfologia do relevo e do tipo de sedimento, os quais apresentam composição físico-química específica que é condicionante da modelagem das formas da paisagem.

- Unidade: correspondem a unidades básicas do terreno associadas à ocorrência de "geoformas". Compreende-se como geoforma uma parte do terreno onde ocorre uma associação específica das formas de ocorrência dos vários elementos fisiográficos que compõem a paisagem, e que são resultantes da ação dos elementos da paisagem exógenos ao meio físico (clima, ação antrópica, etc.), bem como da dinâmica de evolução e das propriedades intrínsecas (estáticas) dos elementos fisiográficos (geologia, solo, vegetação, etc.). Assim, uma geoforma apresenta litologia, forma de relevo, perfil de alteração, vegetação, etc. específicos e constantes na sua área de

ocorrência.

A identificação dos diversos compartimentos fisiográficos foi feita com base na análise de elementos texturais (de relevo e drenagem) de imagens, e seus limites foram determinados em função da homogeneidade, tropia e assimetria desses elementos.

Observa-se que a homogeneidade e a similaridade dos diversos compartimentos obtidos foram verificadas conforme sugerido por Vedovello e Mattos (1990).

Destaca-se que as unidades resultantes deste procedimento constituem unidades básicas de compartimentação (UBCs) as quais podem ser utilizadas nos mais diversos tipos de estudos sobre o meio físico.

Deve-se destacar ainda que as unidades de compartimentação determinadas nesta fase foram classificadas segundo um código que reflete sua classificação taxonômica. Esse código é composto por três letras maiúsculas seguidas de um algarismo e relacionam-se aos níveis taxonômicos da seguinte forma:

1<sup>a</sup> letra maiúscula: refere-se à Província

2<sup>a</sup> letra maiúscula: refere-se à Zona

3<sup>a</sup> letra maiúscula: refere-se à Subzona

algarismo: refere-se à Unidade

3<sup>a</sup> Fase: Caracterização Geotécnica:

Nesta fase as unidades básicas de compartimentação (obtidas na fase anterior) foram caracterizadas em função de cinco fatores geotécnicos considerados básicos para

subsidiar a elaboração da cartografia final (carta de unidades geotécnicas para expansão urbana).

Os fatores considerados foram: alterabilidade, permeabilidade, declividade, tipo de material do manto de alteração e espessura do manto de alteração.

O caráter básico desses fatores geotécnicos é dado em função da relação existente entre eles e os fatores condicionantes da ocupação urbana, aqui considerados: a ocorrência de fenômenos geodinâmicos (erosão, escorregamentos, inundações, etc.) e a potencialidade de manejo dos materiais constituintes das unidades (movimentos de terra, fundações, etc.).

Para cada fator estudado foram definidas quatro classes qualitativas, as quais podem ser identificadas no quadro da figura 1. Tais fatores e os respectivos critérios fotointerpretativos foram os seguintes:

- permeabilidade: refere-se a maior ou menor facilidade que os materiais oferecem à percolação de um fluido em um meio poroso. Este fator foi considerado inversamente proporcional a densidade de elementos texturais de drenagem. Assim, unidades com densidade de drenagem baixa possuem alta permeabilidade e vice-versa. Observa-se que foi estabelecido como pressuposto que uma dada subzona apresente índice pluviométrico constante por toda sua área de ocorrência.

- declividade: como declividade considerou-se a inclinação

média das vertentes independente de sua direção. Foi estimada pelo espaçamento relativo (frequência) entre as quebras de relevo positivas e negativas paralelas aos vales principais das UBCs, e considerada inversamente proporcional a esse espaçamento. Observa-se que para que tal critério fosse válido, considerou-se que para uma dada subzona as amplitudes de relevo são constantes.

- tipo de material do manto de alteração: este fator refere-se à composição físico-química (granulométrica e mineralógica) do manto de alteração, e foi analisado pelo exame das formas de encosta. Foram estabelecidas quatro classes: argiloso (encostas com perfil convexo), argilo-arenoso (encostas com perfis convexo-côncavos), areno-argiloso (encostas com perfis côncavos) e arenoso (encostas com perfis convexo-retilíneo-côncavo).

- espessura do manto de alteração: foi considerado como o valor médio do "volume" de alteração dos maciços rochosos e estimado pelo exame das formas de encosta. As classes de análise e os respectivos perfis típicos foram: muito espesso (perfil convexo), moderadamente espesso (perfil convexo-côncavo), pouco espesso (perfil côncavo) e delgado (perfil convexo-retilíneo-côncavo).

- alterabilidade: como alterabilidade considerou-se a maior ou menor suscetibilidade dos materiais componentes das UBCs (rochas e solos) ao intemperismo. O critério analítico utilizado para classificar as unidades foi o exame das formas das encostas. Isso foi feito pela

identificação (na imagem) dos perfis de encostas típicos (convexo, convexo-côncavo, côncavo e convexo-retilíneo-côncavo), os quais foram correlacionados respectivamente às seguintes classes: muito alta, alta, média e baixa.

Conforme pode-se observar, as classes dos três últimos fatores foram inferidas à partir da análise das formas de encosta. Tal inferência é possível pelo fato de que esses fatores são relacionáveis aos processos de intemperismo (eluviação) e de erosão (remoção de material), processos esses que em função de seu balanço relativo (velocidade de intemperismo versus velocidade de erosão) determinam a forma das encostas e originam perfis específicos.

Os perfis típicos utilizados neste trabalho foram os mesmos usados por Soares e Fiori (1976).

#### 4ª Fase: Cartografia Temática:

A cartografia aqui realizada consistiu em classificar as unidades básicas de compartimentação (após sua caracterização geotécnica) em função de seu grau de adequação à expansão urbana.

Assim foram determinadas quatro classes, relativas ao seu maior ou menor grau de restrições à ocupação urbana, a saber:

- Classe I : corresponde à áreas favoráveis à ocupação, apenas com pequenas restrições na fase de implementação das obras. Essas restrições se fazem no sentido de evitar a ocorrência de fenômenos geodinâmicos resultantes de uma ação técnica inadequada na

implantação de determinada obra. Como exemplo pode-se citar: estrangulamentos de drenagens ocasionando inundações, cortes mal dimensionados aumentando a declividade natural do terreno, etc.

- Classe II : engloba áreas propícias à ocupação mediante verificação de procedimentos técnicos específicos para a implantação das obras. Como exemplo pode-se citar a necessidade de pequenas obras de contenção ou instalação de drenagens artificiais (canaletas, valas revestidas, etc.), visando estabilizar cortes do terreno.

- Classe III : reúne áreas pouco favoráveis à ocupação que entretanto podem ser utilizadas mediante a elaboração de projetos técnicos que exigem elevados investimentos e infraestrutura. Como exemplo pode-se citar a necessidade de grandes obras de contenção (drenos profundos, injeções de concreto em maciços rochosos, etc.) ou a execução de aterros.

- Classe IV : compreende áreas impróprias à ocupação mesmo diante da adoção de projetos técnicos específicos. A utilização dessas áreas tornam as obras implantadas sujeitas a riscos geotécnicos potenciais (tais como escorregamentos, enchentes, etc.), riscos estes independentes dos recursos técnicos utilizados.

Para se determinar a classe de restrição em que se enquadravam as diversas unidades básicas de compartimentação, analisou-se (para cada UBC) a relação entre as classes dos fatores geotécnicos (obtidos na fase três) e as classes de

restrições à ocupação urbana. Os critérios de classificação estabelecidos com base nessa relação podem ser vistos no quadro da figura 1.

A relação estabelecida nesse quadro é resultado da identificação do tipo de influência que cada fator geotécnico analisado exerce sobre os fatores fisiográficos que condicionam a ocupação urbana.

Observa-se ainda que, quando uma determinada UBC apresentou fatores geotécnicos distribuídos em mais de uma classe de restrição à ocupação urbana, classificou-se essa dada unidade segundo o fator que indicava a classe mais restritiva à ocupação.

## Resultados

A compartimentação fisiográfica obtida encontra-se sintetizada no quadro da figura 2. O procedimento realizado para a obtenção de tal compartimentação (através da análise de elementos texturais de imagem) permite que a cartografia preliminar obtida na fase de compartimentação fisiográfica (carta de unidades básicas de compartimentação) seja utilizada não só para a realização de zoneamentos geotécnicos como também para quaisquer tipos de estudos que versem sobre a avaliação de terrenos.

Sobre a caracterização geotécnica observa-se que os critérios fotointerpretativos utilizados permitiram a inferência dos fatores geotécnicos analisados na caracterização das UBCs. Entretanto, para aumentar a confiabilidade dos dados obtidos, sugere-se o

estabelecimento de uma relação quantitativa entre as classes dos fatores analisados e as propriedades texturais que os determinam.

Em relação a cartografia final (carta de unidades geotécnicas para a expansão urbana) destaca-se que a checagem de campo mostrou que as UBCs foram classificadas adequadamente em função do uso considerado, o que torna esse tipo de cartografia um instrumento útil para embasar o planejamento da ocupação urbana da região estudada.

### Considerações Finais

Os resultados obtidos permitiram concluir que: a linha dorsal construída nesta pesquisa (compartimentação fisiográfica, caracterização geotécnica e cartografia final) parece bastante adequada para a obtenção de um zoneamento geotécnico (através de sensoriamento remoto) que tenha a finalidade de subsidiar decisões sobre planejamentos regionais.

O "formato" em unidades diretamente relacionadas com os componentes da paisagem permite ainda a utilização desses zoneamentos geotécnicos em estudos integrados com informações ecológicas, sócio-econômicas, etc.) os quais visem subsidiar o manejo ambiental nas mais diversificadas regiões.

Destaca-se ainda que, a partir do estudo de caráter exploratório aqui apresentado, devam ser feitos novos (mais detalhados) sobre cada fase do procedimento apresentado. Estudos esses que poderão contribuir para a superação tanto de dificuldades práticas (encontradas na execução do método) como conceituais (relacionadas à terminologia utilizada nas diversas fases, a qual é muito conflituosa).

Assim, a continuidade das pesquisas nesta linha vão permitir a operacionalidade da metodologia visando maior rapidez na obtenção destes mapeamentos e um aumento no grau de confiabilidade das informações através de dados por satélite.

### Referências

- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícias Geomorfológicas, 6(32):71-104, 1976.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T.de Verificação de parâmetros e propriedades morfoambientais, em imagens de satélite, para estudos do planejamento de áreas litorâneas. In: SIMP. BRAS.DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6, Manaus, 24-29 jun 1990. Anais. São José dos Campos, INPE, 1990, p.671-675

CLASSES FATORES	I	II	III	IV
ALTERABILIDADE	muito alta	alta	média	baixa
PERMEABILIDADE	alta	média	baixa	muito baixa
DECLIVIDADE	< 8%	8 a 15%	15 a 25%	> 25%
TIPO DE MATERIAL DO MANTO DE ALTERAÇÃO	argiloso	argilo-arenoso	areno-argiloso	arenoso
ESPESSURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO	> 2,00m	2,00 - 1,00 m	1,00 - 0,30m	< 0,30m

Figura 1: Quadro de classificação das UBCs para expansão urbana.

PROVÍNCIAS	ZONAS	SUBZONAS	UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO
PLANÁLTICA (P)	PARAITINGA (PT)	A (PTA)	PTA <sub>1</sub> a PTA <sub>6</sub>
		B (PTB)	PTB <sub>1</sub> a PTB <sub>6</sub>
	NATIVIDADE (PN)	A (PNA)	PNA <sub>1</sub> a PNA <sub>6</sub>
		B (PNB)	PNB <sub>1</sub> a PNB <sub>6</sub>
		C (PNC)	PNC <sub>1</sub> a PNC <sub>6</sub>
	PARAIBUNA (PB)	A (PBA)	PBA <sub>1</sub> a PBA <sub>17</sub>
		B (PBB)	PBB <sub>1</sub> a PBB <sub>6</sub>
BOCAINA (PC)	—	PC <sub>1</sub>	
LITORÂNICA (L)	ESCARPAS (LE)	Escarpos Festonados (LEF)	LEF <sub>1</sub> a LEF <sub>6</sub>
		Escarpos c/Espigões Digitados (LED)	LED <sub>1</sub> a LED <sub>6</sub>
	MORRARIA (LM)	Morros Isolados (LMI)	LMI
		Maciços (LMM)	LMM <sub>1</sub> a LMM <sub>7</sub>
	BAIXADAS (LB)	Marinho (LBM)	LBM
		Fluvial (LBF)	LBF
		Coluvial (LBC)	LBC

Figura 2: Unidades de compartimentação determinadas.