



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

**RBGEA**

**REVISTA BRASILEIRA DE  
GEOLOGIA DE ENGENHARIA  
E AMBIENTAL**



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

**REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**

*Publicação Científica da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*

EDITORES

Prof. Dr. Fábio Taioli - IGc/USP  
Geól. Dr. Fernando F. Kertzman - Geotec  
Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho - EESC-USP

REVISORES

Alberto Pio Fiori - UFPR	José Eduardo Zaine - UNESP
Angelo José Consoni - TSAP	José Luiz Albuquerque Filho - IPT
Antonio Cendrero - Univ. da Cantabria (Espanha)	Kátia Canil - IPT
Antonio Manoel Santos Oliveira - UNG	Leandro Eugênio da Silva Cerri - UNESP
Candido Bordeaux Rego Neto - IPUF	Lídia K. Tominaga - IG/SMA
Clovis Gonzatti - CIENTEC	Luis de Almeida Prado Bacellar - UFOP
Diana Hambuerger - CENAC	Luiz Nishiyama - UFU
Eduardo Brandau Quitete - IPT	Luiz Fernando D'Agostino - Núcleo Proj. e Cons.
Eduardo Goulart Collares - UEMG	Marcelo Fischer Gramani - IPT
Eduardo Soares de Macedo - IPT	Marcilene Dantas Ferreira - UFSCar
Ely Borges Frazão - Consultor	Maria Cristina Jacinto Almeida - IPT
Emilio Velloso Barroso - UFRJ	Maria Heloisa B.O. Frascá - Consultora
Frederico Garcia Sobreira - UFOP	Maria José Brollo - IG/SMA
Guido Guidicini - Geoenergia	Marta Luzia de Souza - UEM
Helena Polivanov - UFRJ	Nelson Meirim Coutinho - GEORIO
Jair Santoro - IG/SMA	Newton Moreira de Souza - UnB
João Carlos Dourado - UNESP	Noris Costa Diniz - UnB
José Alcino Rodrigues de Carvalho - Univ. Nova de Lisboa (Portugal)	Oswaldo Augusto Filho - USP
José Augusto de Lollo - UNESP	Reinaldo Lorandi - UFSCar
José Eduardo Rodrigues - USP	Renato Luiz Prado - USP
	Ricardo Vedovello - IG/SMA

APOIO EDITORIAL

Renivaldo T. Campos  
Nill Cavalcante

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Rita Motta - Editora Tribo da Ilha

---

**Volume 2 - Número 2**

**Circulação:** Maio de 2012

ISSN 2237-4590

---

## DIRETORIA ABGE GESTÃO 2012/2013

**Presidente:** João Jerônimo Monticeli  
**Vice Presidente:** Eduardo Soares de Macedo  
**Diretor Secretário:** Fabrício Araujo Mirandola  
**Diretor Financeiro:** Jair Santoro  
**Diretor Financeiro Adjunto:** Adalberto Aurélio Azevedo  
**Diretor de Eventos:** Luciana Pascarelli dos Santos  
**Diretor de Eventos Adjunto:** Kátia Canil  
**Diretor de Comunicação:** Marcelo Fischer Gramani  
**Diretor de Comunicação Adjunto:** Ivan José Delatim  
**Diretor de Ensino e Jovem Profissional:** Leandro Eugênio da Silva Cerri

### CONSELHO DELIBERATIVO

Adalberto Aurélio Azevedo, Eduardo Soares de Macedo, Fabrício Araújo Mirandola, Fernando FacciollaKertzman, Ivan José Delatim, Jair Santoro, João Jerônimo Monticeli, José Luiz Albuquerque Filho, Kátia Canil, Leandro Eugênio Silva Cerri, Luciana Pascarelli dos Santos, Luis de Almeida Prado Bacellar e Marcelo Fischer Gramani. Suplentes: Aline Freitas Silva, Daniel Augusto Buzzatto de Lima, Ingrid Ferreira Lima, Jacinto Costanzo Junior e Jorge Pimentel.

### NÚCLEO RIO DE JANEIRO

**Presidente:** Euzébio José Gil  
**Vice-Presidente:** Máisa Duque Pamplona Green  
**Diretor Secretário:** Hugo Tavares Machado  
**Diretor Financeiro:** Victor Seixas

### NÚCLEO MINAS GERAIS

**Presidente:** Maria Giovana Parizzi- **Secretário:** Frederico Garcia Sobreira  
**Tesoureiro:** Luís de Almeida Prado Bacellar- **Diretor de Eventos:** Leonardo Andrade de Souza  
**End.:** Univ. Fed. de Ouro Preto - Depto. Geologia - 35400-000 – Ouro Preto/MG**Fone:** (31) 3559.1600 r 237 **Fax:** (31) 3559.1606 – **E-mail:** sobreira@degeo.ufop.br

### REPRESENTANTES REGIONAIS

Nome	Estado
Adelia Didia Caloba Aguiar	AM
Alberto Pio Fiori	PR
Andrea Valli Nummer	RS
Arnaldo Sakamoto	MS
Candido Bordeaux	SC
Carlos Henrique Medeiros	BA
Claudio Szlafsztein	PA
Heliene Ferreira da Silva	AL
João Luiz Armelin	GO
Jocélio Cabral Mendonça	TO
José Vitoriano de Britto Neto	CE
Kurt Albrecht	MT
Luiz Gilberto Dall'Igna	RO
Moacyr Adriano Augusto Junior	MA
Nestor Antonio Mendes Pereira	DF



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

Secretaria Executiva

**Gerente Executivo:** Renivaldo Campos

Av. Prof<sup>o</sup> Almeida Prado, 532 – IPT (Prédio 11) – São Paulo – SP  
Telefone: (11) 3767-4361 – Email: abge@ipt.br – Home Page: www.abge.com.br





A Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) é uma proposta da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) no sentido de suprir uma lacuna nacional para publicação de trabalhos técnico-científicos e de exemplos de aplicação da Geologia de Engenharia e Ambiental, que venham agregar conhecimentos aos profissionais, pesquisadores e comunidade em geral, tanto em nível nacional como internacional.

Após a grande repercussão do primeiro volume na forma impressa, os próximos números serão publicações eletrônicas, impressas anualmente. Espera-se que os artigos atinjam suas funções estreitando os laços entre os profissionais que atuam na formação e pesquisa com aqueles que atuam em empresas públicas e privadas e que tornaram a Geologia de Engenharia e Ambiental importante para a sociedade nos mais diferentes aspectos; e que também venha dotar os estudantes e profissionais de subsídios técnicos que os melhore a cada dia.

O primeiro volume apresentou artigos históricos de três profissionais que dão nome aos Prêmios da ABGE para os destaques de nossa categoria: Ernesto Pichler, Lorenz Dobereiner e Fernando Luiz Prandini, bem como uma série inicial de artigos encomendados pelos Editores. Esta edição contempla artigos encomendados pelos Editores, bem como trabalhos de destaque no 13º CBGE. A terceira edição contará com artigos submetidos por diversos autores e também pela segunda parte de trabalhos de destaque do 13º CBGE.

Os autores interessados deverão encaminhar os artigos para o email: [rbgea@abge.com.br](mailto:rbgea@abge.com.br)

Cabe lembrar que o Conselho Editorial continua aberto a críticas e sugestões dos associados e autores.

Boa leitura a todos.

**Prof. Dr. Fabio Taioli**  
**Geól. Dr. Fernando F. Kertzman**  
**Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho**





- 9** MÉTODOS GEOFÍSICOS EM GEOTECNIA E GEOLOGIA AMBIENTAL  
*Luiz Antonio Pereira de Souza*  
*Otávio Coaracy Brasil Gandolfo*
- 29** CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA POR CLASSIFICAÇÃO DE UNIDADES DE TERRENO E AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE E APTIDÃO  
*Noris Costa Diniz*
- 79** CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA APLICADA AO PLANEJAMENTO URBANO  
*Frederico Garcia Sobreira*  
*Leonardo Andrade de Souza*
- 99** REVISÃO DOS MÉTODOS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE MATERIAIS GEOLÓGICOS COLAPSÍVEIS  
*José Augusto de Lollo*
- 117** O ENSINO DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NOS CURSOS DE ENGENHARIA CIVIL DO BRASIL  
*Carlos Leite Maciel Filho*  
*Nilson Gandolfi*
- 125** ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DE TÚNEIS DE PRESSÃO  
*Igor Moreira Mota*  
*André Pacheco de Assis*
- 135** REVESTIMENTOS COM PLACAS DE ROCHAS: ADERÊNCIA COM ARGAMASSA COLANTE  
*Lizandra Nogami*  
*Antenor Braga Paraguassú*  
*José Eduardo Rodrigues*
- 143** UMA EXPERIÊNCIA INOVADORA DE ENSINO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL PARA A GERAÇÃO Z  
*Leandro Eugenio da Silva Cerri*  
*Fábio Augusto Gomes Vieira Reis*  
*Lucas Schincariol Vercellino Domingues*  
*Mauro Cerri Neto*



# MÉTODOS GEOFÍSICOS EM GEOTECNIA E GEOLOGIA AMBIENTAL

LUIZ ANTONIO PEREIRA DE SOUZA\*  
OTÁVIO COARACY BRASIL GANDOLFO\*

\* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

## RESUMO

Este trabalho faz uma abordagem dos principais métodos geofísicos sob o ponto de vista de sua aplicação em projetos de geotecnia e em estudos envolvendo questões ambientais. Discutem-se as limitações e as potencialidades de cada um dos métodos apresentados (sísmicos, elétricos, GPR, perfilagem de poços e potencial espontâneo) e as principais características dos equipamentos comumente empregados. São abordados também as técnicas e os procedimentos adotados

na aquisição e no processamento dos dados, bem como as variadas formas de apresentação dos resultados que garantam a plena compreensão dos produtos finais, em especial pelos profissionais não especialistas em geofísica. São apresentados estudos de casos que demonstram a importância da utilização de métodos geofísicos e da interpretação integrada com informações diretas (sondagens).

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a geofísica aplicada vem desempenhando um importante papel nos projetos de engenharia, prospecção de bens minerais e em estudos ambientais. Todavia, muito comumente, as empresas que gerenciam estes projetos desconhecem a diversidade de metodologias geofísicas disponíveis no mercado, bem como, o correto emprego e as limitações e potencialidades destas ferramentas de investigação.

Segundo Orellana (1972) geofísica é a “ciência que se ocupa do estudo das estruturas do interior da Terra e da localização de materiais delimitados pelos contrastes de alguma de suas propriedades físicas com as do meio circundante, usando, para esta finalidade, medidas tomadas na superfície da terra ou da água, no interior de furos de sondagens ou em levantamentos aéreos”.

Por propriedades físicas dos materiais entende-se, velocidade de propagação de ondas elásticas, resistividade elétrica, densidade, potencial elétrico natural, cargabilidade, suscetibilidade magnética, entre outras. Ao detectarem os contrastes entre as propriedades físicas dos materiais que compõem a crosta terrestre, os métodos geofísicos possibilitam a avaliação qualitativa, e em muitos casos, quantitativa, da natureza dos

terrenos investigados. Dos parâmetros definidos, destacam-se: o grau de alteração, a presença de estruturas geológicas, a espessura dos estratos sedimentares, a identificação de contatos geológicos, dentre outros, características estas fundamentais para o desenvolvimento de qualquer projeto em geotecnia ou meio ambiente.

Entre alguns exemplos de projetos nos quais a geofísica pode efetivamente contribuir, podem ser citados: locação de poços para captação de água subterrânea, mapeamento de plumas de contaminação e do contato água doce-água salgada, identificação de zonas de fraturamento em maciços rochosos, determinação da profundidade do topo rochoso, mapeamento de utilidades (dutos, galerias, adutoras), identificação de vazamento em barragens, definição do volume de material para dragagem em regiões portuárias ou do volume do material assoreado em reservatórios ou em hidrovias.

São muitas as vantagens da utilização dos métodos geofísicos em projetos de geotecnia e meio ambiente, quando comparados aos clássicos métodos de investigação de subsuperfície. Uma das mais importantes é a própria natureza não-invasiva dos métodos geofísicos, característica

relevante nos dias atuais, já que questões relacionadas à preservação do meio ambiente investigado são prioritárias em qualquer projeto. Outra característica a ser destacada é a relativa rapidez com que são executados os ensaios de campo. Na investigação de áreas submersas este fator é ainda mais relevante, pois uma semana de execução de ensaios geofísicos significa a aquisição de dezenas de quilômetros de perfis, o que garante a cobertura de grandes áreas proporcionando uma excelente relação custo-benefício.

Outra vantagem dos métodos geofísicos é a amplitude da cobertura dos levantamentos, o que dá maior representatividade aos dados. Ao contrário dos métodos convencionais, como sondagens, trincheiras ou amostragens (que são pontuais), perfis ou linhas geofísicas cobrem grandes áreas e, portanto, geram informações que ampliam o conhecimento da área do projeto, tendo como consequência a minimização dos riscos inerentes e das ambiguidades dos modelos interpretativos gerados.

Todavia, ressalta-se que a utilização de métodos geofísicos não implica no abandono dos métodos convencionais de investigação. Dados diretos, oriundos de sondagens ou amostragens, serão sempre importantes para subsidiar o profissional na interpretação das informações geofísicas, com a finalidade de se estabelecer um modelo geológico para a área investigada. A utilização de métodos geofísicos num determinado projeto pode ainda orientar os procedimentos com relação às investigações diretas, minimizando a quantidade e otimizando a localização das mesmas.

Quanto às desvantagens da utilização dos métodos geofísicos, destacam-se os altos preços dos equipamentos, que são geralmente importados, implicando em investimentos iniciais de dezenas ou centenas de milhares de dólares. A necessidade de mão de obra especializada para aquisição de dados, bem como para a manutenção dos equipamentos, constituem-se fatores que também limitam a utilização ampla dos métodos geofísicos no Brasil. A crescente utilização de levantamentos em ambientes urbanos coloca os métodos geofísicos frente a novos desafios, tendo em vista a intensa presença de ruídos eletromagnéticos, tráfego intenso de veículos, presença de pavimentos e reduzido espaço para a aquisição dos dados.

Neste artigo optou-se por compartimentar a discussão sobre o desempenho dos métodos geofísicos aplicados em geotecnia e meio ambiente sob dois pontos de vista: investigação em áreas terrestres e em áreas submersas.

Na primeira abordagem, são tratados os métodos geofísicos aplicados na superfície terrestre (incluindo poços), que são os métodos sísmicos, a eletrorresistividade, o potencial espontâneo, o GPR, a perfilagem de poços e a magnetometria, com destaque para os dois primeiros. Os conceitos básicos relacionados à geofísica aplicada, bem como as principais aplicações, estão amplamente discutidos em Griffiths & King, 1983; Dobecki & Romig, 1985; Telford et al., 1990; Parasnis, 1997; Reynolds, 1997; Souza et al., 1998; Milson, 2003; Duarte, 2010; Kearey & Brooks, 2009.

A segunda abordagem deste artigo foca na investigação de ambientes submersos rasos (rios, reservatórios, lagos e plataforma continental interna) que são ambientes que tem despertado especial interesse da sociedade, no Brasil e no mundo, nestes últimos anos. Os principais métodos geofísicos utilizados na investigação destes ambientes são os métodos acústicos, que englobam a batimetria, a sonografia e a perfilagem sísmica contínua. Outros métodos geofísicos (elétricos e eletromagnéticos) podem também ser aplicados, porém com restrições.

## 2 INVESTIGAÇÃO DE AMBIENTES TERRESTRES

Um dos métodos mais clássicos utilizados na investigação do ambiente terrestre é a sísmica. Este método geofísico lida com a propagação das ondas elásticas nos materiais geológicos, característica que tem correlação direta com algumas propriedades físicas dos materiais, tais como, grau de consolidação/cimentação, alteração, compactação, saturação do maciço, entre outros. Desta forma, a sísmica produz informações que podem ser integradas com dados de sondagens mecânicas (percussão, rotativa, trado, ensaio CPT, etc.) contribuindo efetivamente para a caracterização geológica e geotécnica dos terrenos.

Dentre os métodos sísmicos, destaca-se a sísmica de refração (Lankston, 1990), que vem sendo amplamente empregada há alguns anos na geologia de engenharia e é indicada para a

determinação da profundidade do topo rochoso e da espessura da cobertura do capeamento (rocha alterada ou solo). Por se tratar de um método que determina, com relativa precisão, as velocidades de propagação das ondas sísmicas nos materiais, tem efetiva aplicação no estudo da escarificabilidade de maciços e na avaliação da qualidade de maciços rochosos (Sjogren et al.,1979). A sísmica de refração, portanto, tem ampla aplicação em estudos preliminares de implantação de grandes obras civis, como barragens e túneis.

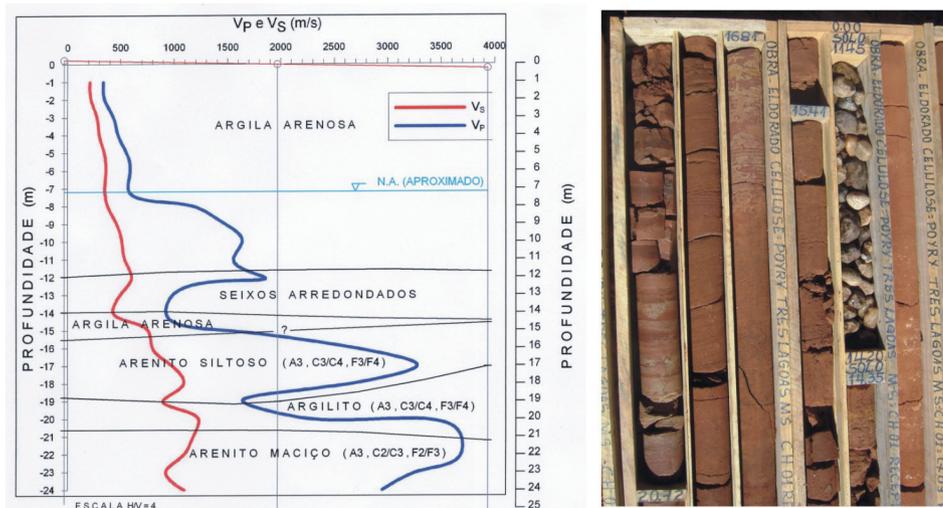
Os métodos sísmicos comumente utilizam a onda P (compressional, longitudinal ou primária) que pode ser facilmente gerada e identificada em um sismograma. Entretanto, observa-se uma tendência crescente no emprego da onda S (cisalhante, transversal ou secundária) em geotecnia, particularmente para a engenharia de fundações, tendo em vista que a velocidade de propagação da onda S, ao contrário da onda P, não é influenciada pela presença de água no maciço. A onda cisalhante (onda S) se propaga apenas pela porção sólida do solo e pode, a priori, identificar mudanças litológicas de maneira mais eficaz do que a onda P. Daí a importância de sua utilização.

O conhecimento dos valores de velocidades da onda P ( $V_p$ ) e da onda S ( $V_s$ ), juntamente com a densidade dos materiais, permite a determinação dos parâmetros elásticos dinâmicos dos maciços: módulo de Young, coeficiente de Poisson e módulo de rigidez ou cisalhamento (Dourado, 1984). O conhecimento destes parâmetros é importante para a previsão do comportamento tensão-deformação

de solos sob solitação dinâmica de baixas amplitudes, sobre os quais serão implantadas estruturas que causem algum tipo de vibração (instalação de máquinas ou motores vibratórios, aerogeradores de energia eólica, etc.). São diversos os ensaios sísmicos dos quais podem ser obtidas  $V_p$  e  $V_s$ .

Quando estão disponíveis furos de sondagens, as velocidades poderão ser obtidas por meio dos ensaios *crosshole*, *downhole* ou *uphole*, técnicas cuja principal desvantagem está justamente na necessidade de furos, atividade comumente dispendiosa. Embora sejam mais caros, estes ensaios fornecem os resultados mais precisos e com maior resolução na determinação de  $V_p$  e  $V_s$  em profundidade, se comparados com aos ensaios realizados na superfície (refração, reflexão).

Dentre os ensaios em furos, destaca-se o consagrado *crosshole* (Prado, 1994) que deve ser realizado segundo a norma técnica ASTM 4428/4428M (2007). A limitação deste ensaio está relacionada ao pequeno volume de maciço amostrado, devido à pequena distância requerida entre os furos para a sua realização (dois ou três furos espaçados de três metros para solo; e em torno de cinco metros para rocha). Neste tipo de ensaio, os furos devem ser especialmente preparados (revestidos com PVC, preferencialmente de parede grossa, espaço anelar preenchido e garantia da verticalidade dos furos). Os resultados deste ensaio podem ser diretamente correlacionados com as descrições das sondagens que originaram os furos, determinando de forma precisa a velocidade das ondas sísmicas (P e S) nos diversos estratos encontrados (Figura 1).



**Figura 1** – Resultados de um ensaio *crosshole* correlacionado com informações de sondagem em uma área de arenitos (IPT, 2010).

Em locais onde há a disponibilidade de apenas um furo, podem ser realizados ensaios do tipo *downhole* (fonte na superfície e geofones no furo) ou *uphole* (fonte no furo e geofones na superfície). Em termos práticos, o *downhole* (ASTM-D7400, 2008) é o mais utilizado, pela maior facilidade da geração de energia sísmica na superfície do que no interior do furo. Podem ser realizados utilizando-se tanto a onda P como a onda S.

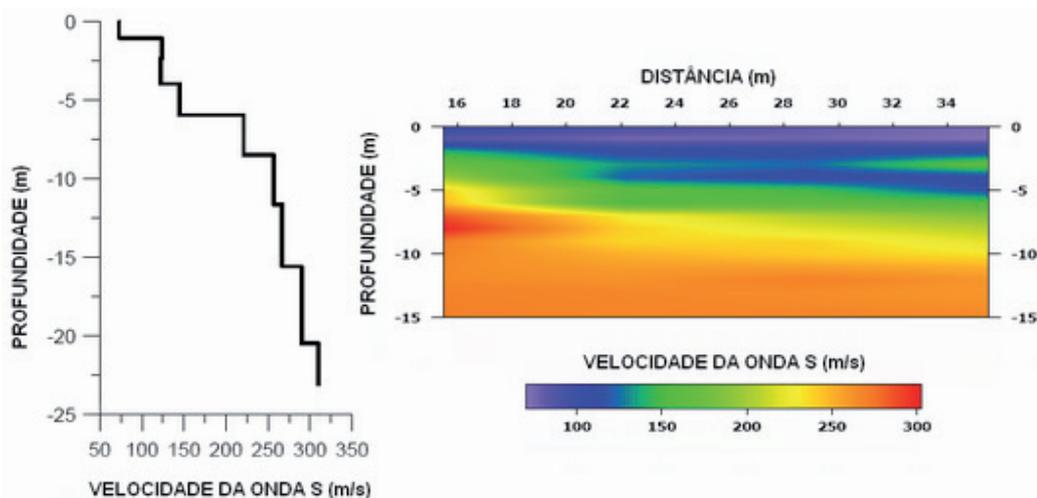
Na ausência de furos de sondagens, uma alternativa para a determinação de  $V_p$  e  $V_s$  é a realização de ensaios sísmicos em superfície (refração, ensaios com ondas superficiais). Por apresentarem custo operacional menor que os ensaios em furos, podem gerar produtos com uma relação custo-benefício compatível com as necessidades do projeto (Gandolfo, 2011). A refração sísmica, classicamente utilizada para determinação de  $V_p$ , pode também ser utilizada para determinação de  $V_s$ , tendo com limitação a dificuldade da geração da onda S em superfície (o que não ocorre com a onda P, de fácil geração e identificação nos clássicos registros sísmicos de refração). As fontes de onda S, em geral, possuem energia menor que as fontes de onda P, o que torna difícil a identificação do tempo de chegada da onda S a partir de grandes distâncias entre fonte e receptores (geofones).

Outros ensaios de superfície que permitem a obtenção de  $V_s$  são aqueles que utilizam as ondas superficiais. São largamente utilizados em investigações geotécnicas em outros países e, atualmente, vem ganhando mais espaço no Brasil, devido às facilidades operacionais na execução

dos ensaios e sua enorme potencialidade em diversas aplicações. Uma das técnicas precursoras denominava-se SASW (*Spectral Analysis of Surface Waves*). Este método analisa a propagação das ondas superficiais (onda Rayleigh, particularmente) captadas por apenas dois geofones. O resultado deste ensaio é um perfil da variação de  $V_s$  com a profundidade, obtido por meio de procedimentos matemáticos.

Atualmente o SASW não é muito utilizado e foi substituído pelo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) que tem a vantagem de utilizar múltiplos geofones. A realização do ensaio MASW (Park et al, 1999; Xia et al., 1999) é muito similar ao ensaio de sísmica de refração. No processamento utilizam-se técnicas de inversão dos dados que resultam em informações pontuais da variação de  $V_s$  com a profundidade em um perfil 1D (a partir da análise das ondas Rayleigh). Diversos ensaios realizados ao longo de uma linha podem gerar uma seção com a distribuição espacial de  $V_s$  (2D), informação de grande importância para a área de geotecnia e engenharia de fundações (Figura 2).

Em complementação aos métodos que utilizam fontes sísmicas ativas (marreta, queda de peso etc.) existe também a possibilidade do emprego das ondas superficiais geradas pelo ruído ambiental (tráfego de veículos, por exemplo), o que torna o método bastante interessante, pois possibilita atingir maiores profundidades de investigação. São conhecidos como métodos passivos (Park et al., 2005).



**Figura 2** - Resultados de um ensaio MASW, mostrando a variação de  $V_s$  com a profundidade em um perfil 1D (esquerda) e seção 2D (direita). Modificado de <http://www.geotomographie.de>

Embora os métodos que utilizam ondas superficiais sejam de simples execução e possuam grande potencial de emprego na engenharia geotécnica, ainda demandam estudos mais aprofundados devido à ambiguidade presente na interpretação dos dados. Produtos mais confiáveis de um levantamento de MASW podem ser obtidos quando seus resultados são calibrados com ensaios em furo(s) de sondagem (*crosshole* ou *downhole*) que são aqueles que fornecem as informações mais precisas do perfil de velocidade com a profundidade, conforme já explicitado anteriormente.

Por fim, vale destacar o uso da sísmica de reflexão rasa (ou de alta resolução) que é uma técnica que evoluiu muito nos últimos anos (Steeple & Miller, 1990). A disponibilidade atual de sísmógrafos cada vez mais portáteis e com elevado número de canais possibilita a realização de ensaios de boa qualidade e a custos mais reduzidos, tornando este método uma excelente ferramenta de investigação em ambientes urbanos. A sísmica de reflexão alcança maiores profundidades de investigação do que a sísmica de refração. Atualmente, vêm sendo realizados estudos que, além da onda P, utilizam a onda S (Bokhonok, 2011). Profundidade do embasamento rochoso e a detecção da presença de matacões (Taioli et al., 1993) estão entre os principais produtos da aplicação deste método geofísico.

Embora os produtos oriundos dos métodos sísmicos tenham alta relevância na investigação geológico-geotécnica dos terrenos emersos, cumpre destacar-se o papel, não menos importante, dos métodos elétricos. Destaca-se entre eles, a eletrorresistividade, em especial a técnica do caminhamento elétrico, que encontra grande aplicação, pois investiga um parâmetro (resistividade elétrica) que responde diretamente à presença de água nos maciços rochosos e terrosos (Ward, 1990). A eletrorresistividade pode alcançar grandes profundidades de investigação, dependendo do espaçamento utilizado entre os eletrodos e da potência do equipamento de medida. Enquanto a sísmica de refração limita-se à determinação da profundidade do topo rochoso, a eletrorresistividade é capaz de identificar anomalias relacionadas a zonas e/ou estruturas de maior ou menor permeabilidade no interior do maciço. A eletrorresistividade é um método que encontra aplicação no

estudo do traçado de túneis (Danielsen & Dahlin, 2009), na identificação de matacões (Taioli et al., 2009) e no mapeamento de zonas anômalas em terrenos cársticos (Kruse et al., 2006). Neste último caso, a interpretação dos dados deve ser feita de forma muito criteriosa, com amplo controle das condições hidrogeológicas e estruturais, uma vez que os alvos podem apresentar tanto anomalias condutivas como resistivas. Em estudos de escorregamentos, a eletrorresistividade pode ser aplicada juntamente com o método sísmico (Caris & Van Asch, 1991; Israil & Pachauri, 2003). O método também encontra grande aplicação em estudos ambientais (caracterização hidrogeológica, identificação e mapeamento de anomalias relacionadas à presença de plumas de contaminantes, etc.).

Com relação à identificação de cavidades, além dos métodos elétricos, podem também ser aplicados, preferencialmente de forma conjunta, o método da micro-gravimetria (Baradello et al., 2001; Debeglia et al., 2006), que permite a identificação das pequenas anomalias gravimétricas oriundas dos vazios e cavidades em subsuperfície. A aplicação deste método exige cuidados especiais no processo de aquisição e processamento dos dados, tendo em vista a reduzida amplitude das anomalias geradas pelos alvos.

Na eletrorresistividade, além da clássica técnica do caminhamento elétrico, existe também a sondagem elétrica vertical (SEV), que se constitui numa técnica que pode também ser aplicada em questões geotécnicas e ambientais, preferencialmente em terrenos com homogeneidade lateral, com camadas aproximadamente plano-paralelas. Estudos estratigráficos em bacias sedimentares são bons exemplos de ambientes nos quais esta técnica geofísica tem sido aplicada com sucesso.

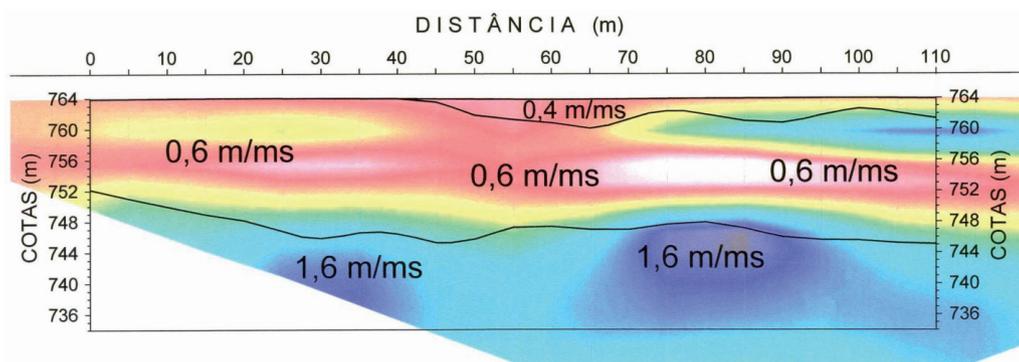
Atualmente existem equipamentos denominados de multi-eletrodos que realizam aquisição de dados de maneira automatizada. Possuem a vantagem de realizar um enorme número de medidas em reduzido intervalo de tempo e com a capacidade de empregar diversos tipos de arranjos em uma mesma linha de investigação, produzindo uma grande amostragem espacial e de alta resolução. Entretanto, alguns cabos destes equipamentos não permitem a utilização de grande espaçamento entre eletrodos, o que acarreta menor profundidade de investigação, o que pode

não contemplar os objetivos de um determinado projeto (Gandolfo, 2007). A escolha do arranjo a ser utilizado depende do tipo de alvo, geometria e profundidade em que o mesmo se encontra.

Outro aspecto importante a ser destacado nos métodos elétricos é a atual disponibilidade de técnicas modernas de processamento dos dados, o que possibilita a construção de modelos geolétricos correlacionáveis de forma mais confiável com o

modelo geológico-geotécnico do local investigado, em termos da geometria e profundidade dos alvos.

A análise integrada de dados de eletrorresistividade (caminhamento elétrico) e dados sísmicos (refração) conduzem comumente a uma interpretação mais confiável, encorajando o emprego conjunto destes dois métodos de investigação geofísica (Figura 3).



**Figura 3** — Seção sísmica interpretada, sobreposta a uma seção geolétrica, obtida em um aterro de inertes. O aterro, parte superior, apresenta altas resistividades elétricas (tonalidades amarelas e vermelhas) e velocidades sísmicas baixas; na base deste, encontra-se o solo natural, possivelmente saturado, com resistividades elétricas baixas (tonalidades azuladas) e velocidade sísmica igual a 1,6 m/ms). (IPT, 2011).

Uma alternativa ao método da eletroresistividade é o método eletromagnético (EM) que investiga o mesmo parâmetro físico (condutividade elétrica/resistividade elétrica). Encontra aplicações em estudos ambientais (mapeamento de plumas de contaminação) e de forma mais restrita, em geotecnia. Trata-se de um método indutivo, cuja interpretação dos dados não é trivial, além de ser mais suscetível a ruídos eletromagnéticos, comumente presentes em áreas urbanas. Desta forma, a eletrorresistividade, que utiliza contato galvânico (não indutivo) entre eletrodos e o solo, permite aquisição de dados com melhor razão sinal/ruído, constituindo-se, portanto, no método geofísico recomendado para investigação de ambientes urbanos.

Outro método elétrico que tem aplicação especial, principalmente em questões hidrogeológicas e ambientais, é o método do potencial espontâneo (SP, do inglês "Self Potential"). Trata-se de método geofísico de simples aplicação no que se refere aos equipamentos utilizados e aos procedimentos de aquisição de dados (Gallas, 2005). O SP utiliza apenas um multímetro com

alta impedância de entrada, fios de ligação e eletrodos especiais. O método SP mede as voltagens elétricas naturais existentes no terreno (da ordem de mV). O levantamento é realizado por meio de perfis distribuídos numa grade, de modo a compor uma malha de investigação sobre a área de interesse. Os mapas gerados permitem a interpretação de direções preferenciais de fluxos de fluidos subterrâneos.

O SP é um método onde a quantificação dos dados não é trivial. Entretanto, interpretações qualitativas, com base nos mapas confeccionados, podem fornecer excelentes resultados.

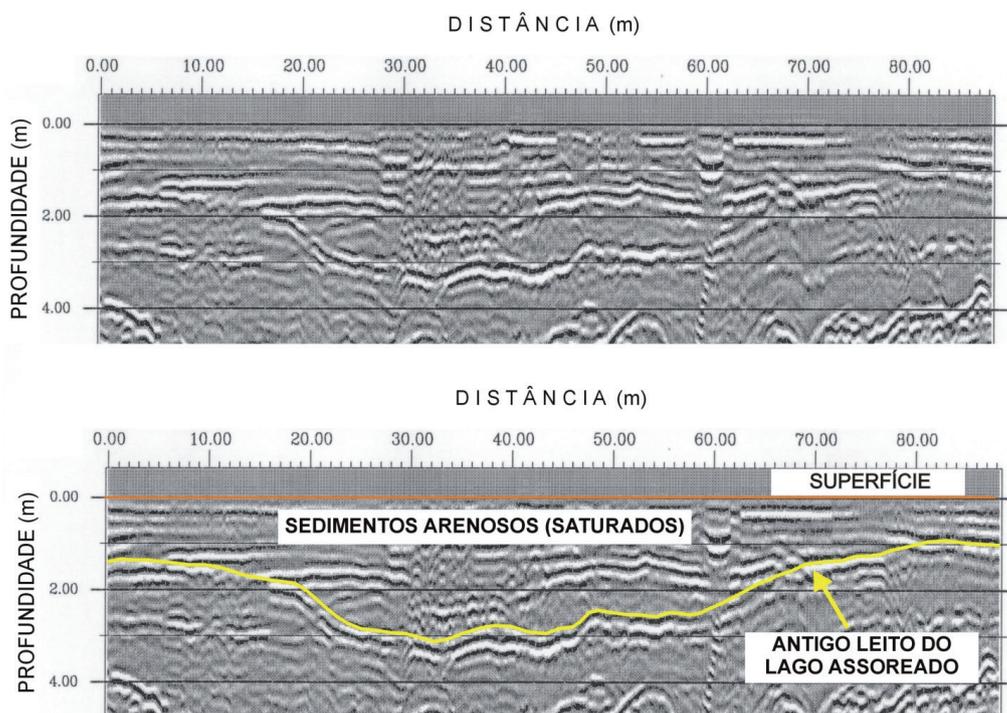
Por ser um método de fácil aplicação e de custo reduzido deve, sempre que possível, ser utilizado em conjunto com outros métodos geofísicos (por exemplo, a eletrorresistividade) desde que as condições locais assim permitam e seus resultados contribuam para os objetivos do projeto.

Encontra grande aplicação nos estudos de fluxos de água subterrânea, seja para uma caracterização hidrogeológica (determinação de direções de fluxos preferenciais e de divisores de água subterrânea) ou em estudos de fugas d'água em

barragens. Pode também ser utilizado para identificação de anomalias relacionadas à presença de contaminantes em subsuperfície.

O último método a ser destacado na investigação de superfícies terrestres é o GPR (Ground Penetrating Radar). Trata-se de um método geofísico de alta resolução, pois opera com altas frequências, na faixa de MHz (Davis & Annan, 1989). Esta característica, aliada à natureza elétrica geralmente condutiva dos terrenos, faz com que na maioria das vezes, não sejam alcançadas as profundidades de investigação almejadas pelo projeto. Tal fato torna limitada a aplicação do GPR quando da necessidade de determinação do topo do embasamento rochoso, principalmente se considerarmos

a frequente ocorrência de espesso capeamento intempérico em muitas regiões do país. Relembra-se que as ondas eletromagnéticas são fortemente atenuadas em locais eletricamente condutivos, como por exemplo, solos silto-argilosos úmidos/saturados. Por outro lado, em terrenos eletricamente resistivos (por exemplo, solos arenosos secos), maiores profundidades podem ser alcançadas. Desta forma, o conhecimento prévio das características elétricas da área de interesse pode ser um indicativo do sucesso ou não da aplicação do método GPR. A Figura 4 apresenta um exemplo de seção de excelente qualidade obtido por meio do GPR aplicado em ambiente favorável.



**Figura 4** – Seção GPR obtida em um estudo de assoreamento (acima). Na seção interpretada (abaixo), o refletor assinalado em amarelo corresponde ao fundo da lagoa, preenchida por sedimentos arenosos (IPT, 2006).

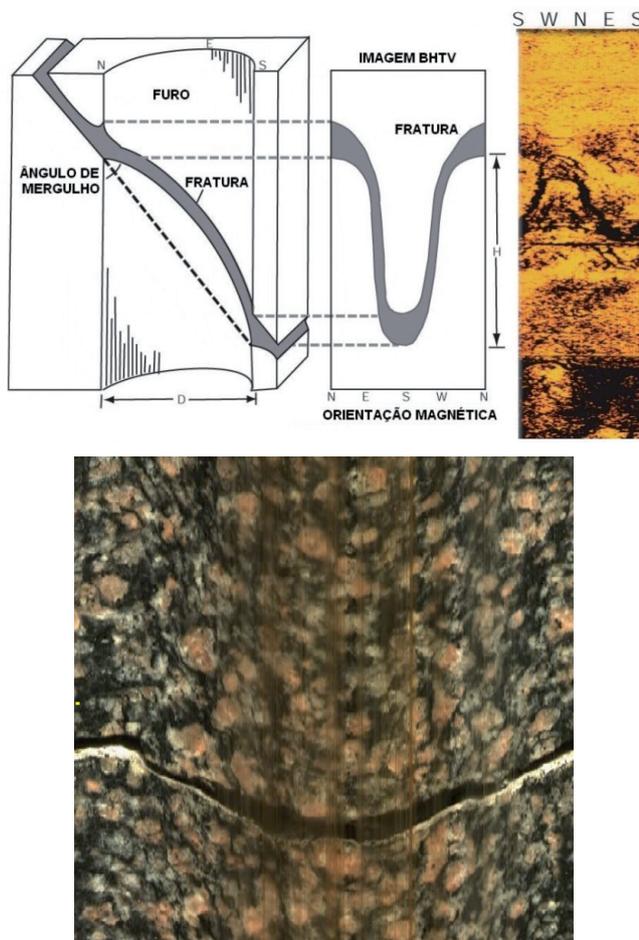
O GPR apresenta bons resultados no mapeamento e identificação de dutos, galerias e interferências em geral, que comumente se encontram a pequenas profundidades. Neste tipo de aplicação, costuma-se utilizar antenas de frequências maiores ou iguais a 200 MHz, o que, na prática, permite profundidade de investigação raramente superior a 4 metros. Recomenda-se ainda, para estas aplicações a utilização complementar de outras técnicas como as do tipo “piper locators”.

Outra aplicação onde o GPR apresenta um bom desempenho é na inspeção de estruturas de concreto em obras civis e na investigação de pavimentos. Neste caso, são utilizadas antenas com frequências da ordem de GHz (1000 MHz).

Uma das vantagens da utilização do método GPR está na praticidade operacional, já que se trata de ferramenta geofísica leve e de rápida evolução nas operações de campo. Em algumas situações as antenas podem até mesmo estar acopladas

a veículos, o que possibilita a aquisição de grande quantidade de dados cobrindo-se uma grande área num curto intervalo de tempo.

Finalmente, cumpre destacar o importante papel desempenhado pela perfilagem geofísica de poços, que constitui um conjunto de distintas ferramentas que medem diferentes propriedades físicas do meio ao longo de um furo de sondagem. Nesta discussão destacam-se duas ferramentas de imageamento: *borehole televiewer* - BHTV (acústica) e *optical televiewer* - OPTV (ótica). Ambas as ferramentas fornecem uma imagem de alta resolução das paredes do furo e devem ser aplicadas quando se faz necessária a caracterização detalhada de fraturas, mergulhos estratigráficos e estruturais do maciço rochoso. Estas ferramentas permitem a obtenção de medidas precisas das orientações espaciais, das profundidades e das características das feições imageadas. Um sistema constituído por um acelerômetro e um magnetômetro triaxial, permite a correta orientação da imagem (Figura 5).



**Figura 5** - Imagem da parede de um poço, obtidas por perfilagem BHTV (acima) e OPTV (abaixo).

## INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA DE AMBIENTES SUBMERSOS RASOS

A investigação de terrenos submersos visando a construção de portos, barragens, marinas, hidrovias, pesquisa mineral ou implantação de dutos, cabos e emissários submarinos, têm requerido mais informações de subsuperfície do que aquelas geradas pelos métodos convencionais de investigação (sondagens, testemunhagens ou amostragens).

As áreas costeiras, em especial, constituem ambientes altamente complexos, pois representam fisicamente uma interface tripla: atmosfera, continente e oceano. Geologicamente, o substrato que compõe este ambiente originou-se a partir das oscilações do nível do mar no Quaternário. A interação dos processos naturais atuantes nestas áreas com aqueles resultantes do expressivo incremento da ocupação humana leva a transformações na paisagem costeira, muitas vezes indesejáveis e que acabam por exigir, da sociedade, intervenções (muros, molhes, quebra-mares, guia-correntes, regeneração de praias erodidas etc.). Quando não executadas com bases sólidas de conhecimento geológico ou geotécnico, essas intervenções contribuem para o aumento dos riscos de degradação destes ambientes, além de causarem prejuízos incomensuráveis à sociedade. (Trainini, 1994; Mansor, 1994; Morais et al., 1996; Castilhos & Gré, 1996; Tessler & Mahiques, 1996; Pereira et al., 1996; López & Marcomini, 1996; Neumann et al., 1996; Lima et al., 2002; Maia et al., 2002 e Abreu et al., 2005).

No caso das áreas submersas interiores, como rios, lagos naturais ou artificiais, vários são os aspectos que despertam o interesse da sociedade nos dias atuais, a se destacar água e energia (Klessig, 2001). Ainda neste contexto, cumpre salientar o gargalo tecnológico existente na questão hidrovivária, que prejudica, por exemplo, o escoamento da safra agrícola oriunda do centro oeste brasileiro.

Os levantamentos geofísicos têm muito a contribuir na busca de soluções para as demandas descritas, em especial por se tratarem de métodos de investigação não-invasivos, já que as informações são obtidas a partir da superfície d'água, sem a necessidade da penetração física no meio investigado.

São vários os exemplos na literatura que ilustram as diversas vantagens de utilização de métodos geofísicos na investigação de áreas submersas.

Souza (1988) e Tóth et al. (1997) apresentam vários exemplos que ratificam a excelente relação custo-benefício quando da aplicação desses métodos.

Na investigação geofísica de ambientes submersos rasos destacam-se os métodos sísmicos ou acústicos, que englobam a batimetria, a sonografia e a perfilagem sísmica contínua (Souza, 2006). A magnetometria e os métodos geoeletricos também contribuem na investigação de ambientes submersos, porém, sob o ponto de vista mais qualitativo que quantitativo (Souza et al., 2007).

## COMPARTIMENTAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO SÍSMICA DE ÁREAS SUBMERSAS

A investigação sísmica de áreas submersas pode ser compartimentada em dois grandes blocos: investigação rasa e investigação profunda. Esta compartimentação ocorre tendo em vista a tecnologia envolvida na investigação propriamente dita, em cada caso.

A primeira envolve o uso de equipamentos geofísicos de menor porte (fontes acústicas que raramente possuem potência superior a 1000 Joules) e meios flutuantes também de menor porte.

Na segunda, utilizam-se navios de grande porte e equipamentos geofísicos que lidam com fontes acústicas de alta potência (comumente milhares de Joules). Esta última não é foco da abordagem deste artigo, pois está relacionada à indústria do petróleo e à investigação geológica básica de bacias sedimentares.

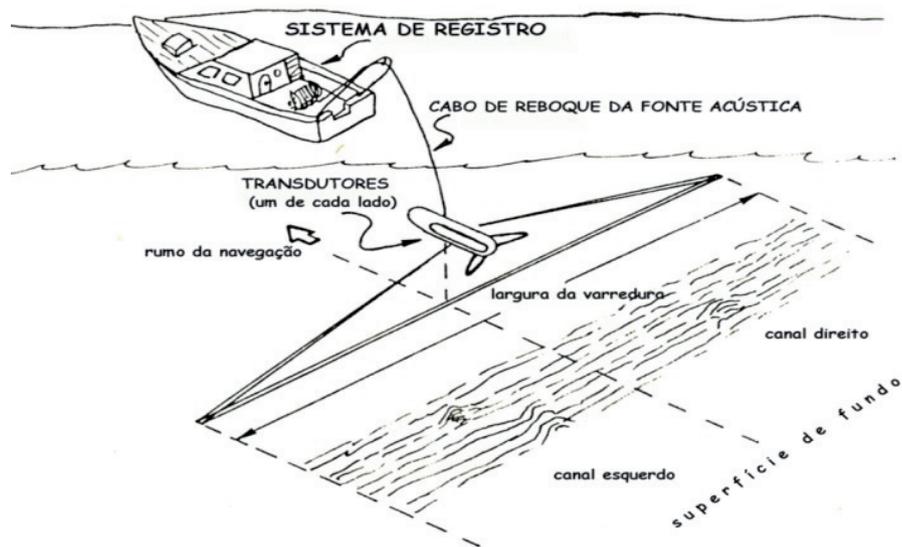
A primeira, que é o foco desta discussão, refere-se à investigação rasa em projetos de engenharia e de geologia básica (mapeamento) e pode ser subdividida em dois subgrupos: investigação

de superfície e de subsuperfície. O primeiro diz respeito à caracterização geológica das superfícies submersas e envolve o mapeamento de afloramentos rochosos, feições sedimentares ou estruturais e até mesmo a temas relacionados à arqueologia subaquática ou a operações de busca e salvamento, na localização de embarcações naufragadas, por exemplo. A delimitação do traçado de dutovias (Souza et al., 2006), o monitoramento de emissários submarinos (Souza et al. 2011), a delimitação de áreas de descarte (Mansor 1994; Souza et al., 2010a), o estudo de hidrovias (Souza, 2008), são exemplos de projetos nos quais a prioridade de investigação é a caracterização de superfícies submersas. Nestes projetos, comumente não existe a necessidade da investigação de subsuperfície. Assim, com estes objetivos, os métodos sísmicos utilizados são aqueles que empregam fontes acústicas que emitem preferencialmente espectros de altas frequências, comumente superiores a 30kHz. Destacam neste contexto a ecobatimetria (simples, dupla frequência ou multifeixes) e sonografia de varredura lateral (Figura 6 e Figura 7). A Figura 8 mostra imagens da superfície de fundo do rio Araguaia, obtida em projeto de estudos hidroviários. A Figura 9 mostra imagem do sonar de varredura lateral ilustrando o potencial desta ferramenta no mapeamento de emissários submarinos (Souza, 2011).

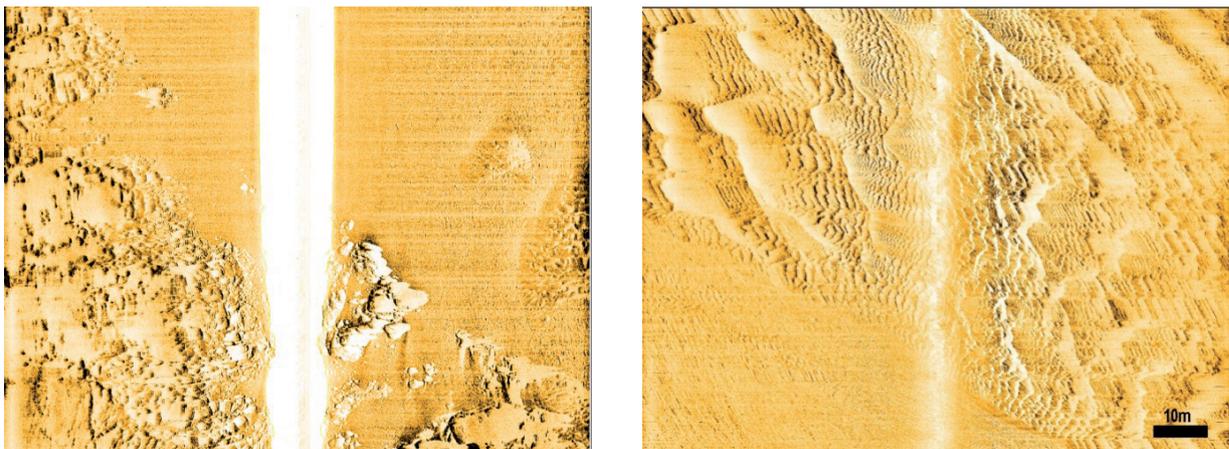
Os sistemas digitais existentes atualmente permitem que estas imagens sejam automaticamente justapostas lateralmente, compondo um mosaico que possibilita o desenvolvimento de uma análise global de várias características geológicas da área investigada tais como, lineamentos, falhas, contatos litológicos (Figura 10). Os sistemas atuais permitem ainda a utilização de fontes multifrequenciais, o que garante resolução e alcance lateral, simultaneamente.



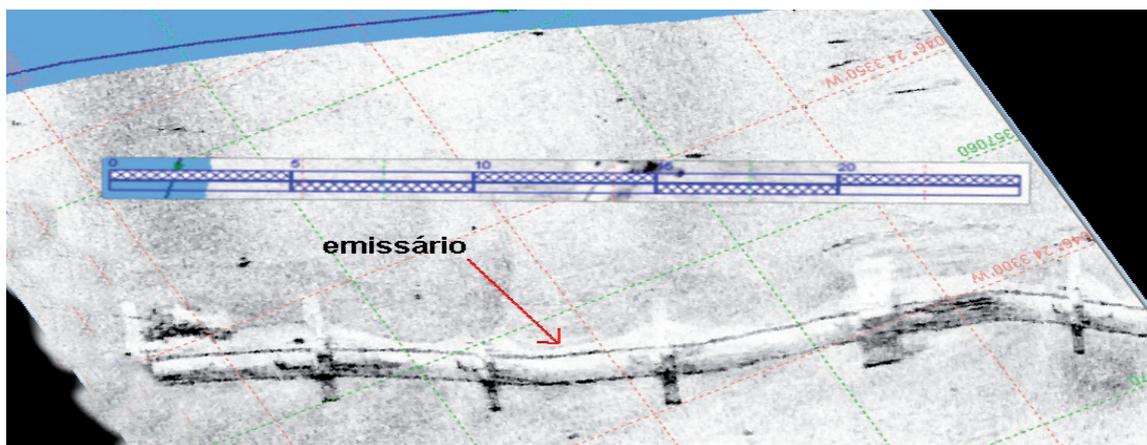
**Figura 6** – Sonar de Varredura Lateral Klein em operação na Praia Grande, litoral de São Paulo, Brasil; a) foto a esquerda, a fonte acústica de dupla frequência (100/500 kHz) denominada de “peixe”; b) foto a direita, equipe do IPT em operação de lançamento do peixe.



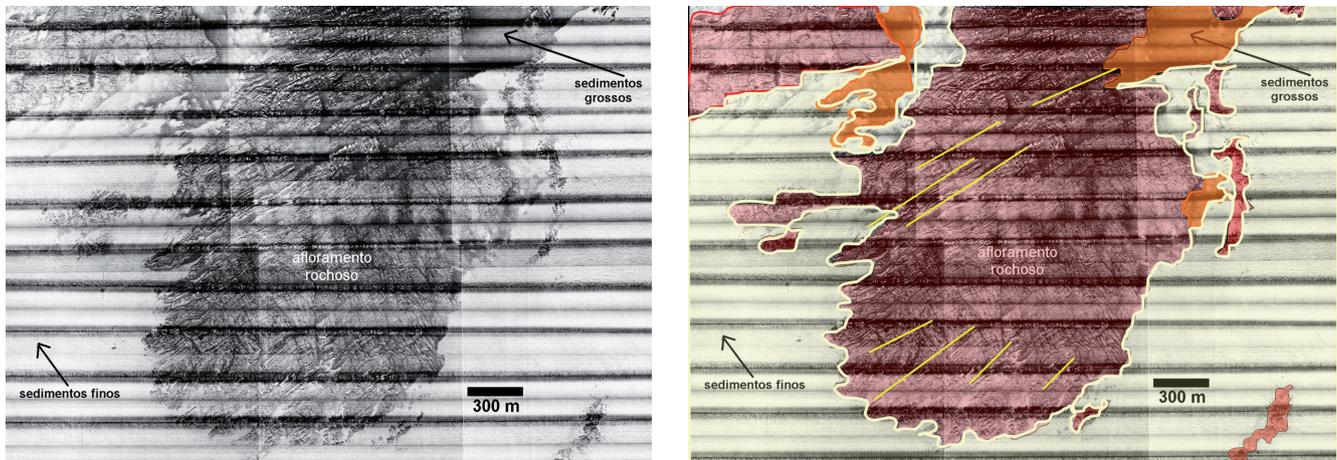
**Figura 7** – Ilustração mostrando como é construída a imagem do sonar de varredura lateral à medida que a embarcação se locomove ao longo da seção. Modificado de Mazel (1985).



**Figura 8** – Exemplos de imagens do sonar de varredura lateral mostrando: a esquerda, contato entre afloramento rochoso e sedimentos; a direita, contato entre cascalhos (área sem estruturas sedimentares) e sedimentos arenosos. Registros obtidos no rio Araguaia. Souza et al. 2010b.



**Figura 9** – Imagem do sonar de varredura lateral de alta resolução obtido com um Sonar Klein 3000 de dupla frequência pertencente ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Nesta imagem observa-se ainda, e com detalhes, a estrutura de suporte do emissário. Souza et al., 2011.



**Figura 10** – Exemplo de mosaico construído a partir de imagens do sonar de varredura lateral. A imagem superior representa os dados de campo justapostos formando mosaico e a imagem inferior, representa o mosaico interpretado com base nas diferentes texturas observadas na imagem. Imagens cedidas pelo Serviço geológico do Japão.

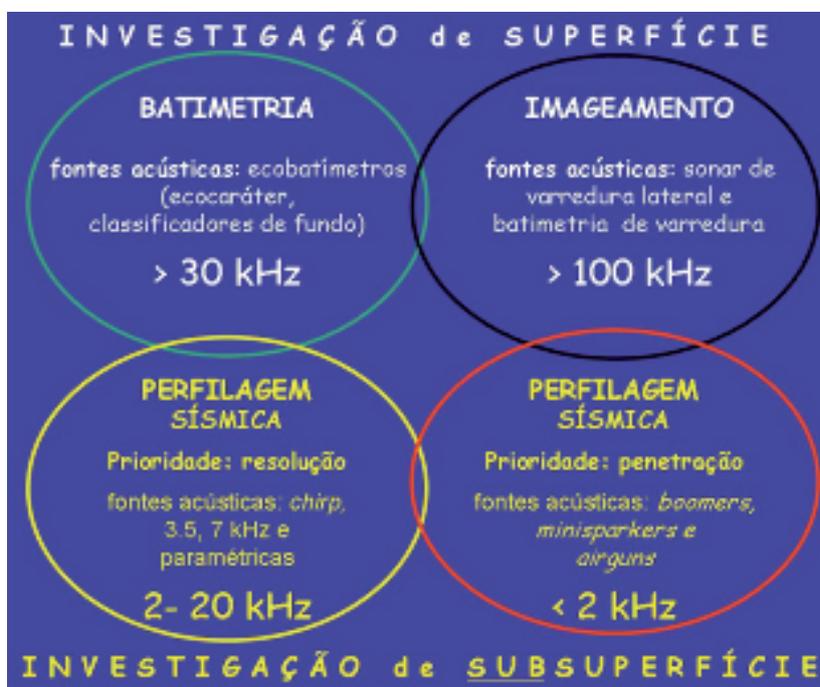
O segundo subgrupo refere-se à investigação de subsuperfície, e neste caso, o objetivo é dar suporte a projetos em que são fundamentais informações sobre a espessura da coluna sedimentar ou a profundidade do embasamento rochoso. A determinação da espessura das camadas sedimentares visando cálculos de cubagem de material para dragagem, e da profundidade do embasamento rochoso, em projetos de pontes, túneis, portos e barragens, são exemplos de estudos que exigem informações de subsuperfície. Com esta

finalidade se destacam os métodos sísmicos que utilizam fontes acústicas do tipo *boomers*, *sparkers* e *chirps* que emitem sinais acústicos com espectros de frequências inferiores a 20kHz e que são denominados, de forma genérica, de métodos de perfilação sísmica contínua (Figura 11).

A Figura 12 ilustra uma tentativa de comparar a investigação sísmica de ambientes submersos rasos tomando como referência as diferentes fontes acústicas existentes e suas principais características e aplicações (Souza, 2006).



**Figura 11** – Exemplo de fonte acústica de baixa frequência e alta energia: a esquerda, um boomer; a direita, um sparkler.



**Figura 12** — Compartimentação da investigação sísmica de áreas submersas rasas. INVESTIGAÇÃO DE SUPERFÍCIE: batimetria - utiliza fontes acústicas que emitem frequências a partir de 30kHz; imageamento - utiliza fontes acústicas que emitem sinais de frequências geralmente superiores a 100kHz. INVESTIGAÇÃO DE SUBSUPERFÍCIE: perfilagem sísmica - utiliza fontes acústicas que emitem frequências geralmente inferiores a 20kHz. Pode ser subdividida em dois grupos: métodos que priorizam a resolução (>2kHz) e os que priorizam a penetração (<2kHz) (Souza, 2006).

## O MÉTODO GEOFÍSICO ADEQUADO PARA INVESTIGAÇÃO DE AMBIENTES SUBMERSOS

Os métodos sísmicos se destacam quando se trata da investigação de áreas submersas. Outros métodos geofísicos (elétricos, eletromagnéticos e magnetométricos) têm sido aplicados em estudos destes ambientes, todavia têm aplicação restrita e apresentam resultados mais qualitativos que quantitativos, e assim, oferecem produtos que não necessariamente satisfazem as solicitações de projetos de engenharia. Todavia, mesmo considerando o excelente e consagrado desempenho dos métodos sísmicos em investigações desta natureza, a decisão pela utilização de um ou outro método sísmico, dentre as várias possibilidades existentes, depende de algumas variáveis e, esta decisão não constitui um procedimento trivial. Diferentes métodos sísmicos utilizam diferentes fontes acústicas, que por sua vez possuem características específicas e oferecem produtos distintos. São vários os exemplos na literatura nacional

de tomada de decisões equivocadas com relação ao método geofísico a ser empregado numa determinada investigação geológica ou geotécnica. Destes casos decorrem enormes prejuízos financeiros e técnicos aos empreendimentos, além de um prejuízo maior que é o conceitual, de expor, negativamente, o método geofísico que foi empregado com objetivo para qual não foi configurado.

As fontes acústicas possuem propriedades que as caracterizam, tais como espectro de frequências e energia (potência), que as credenciam para serem aplicadas a objetivos distintos. De forma geral pode-se afirmar que fontes acústicas de frequências superiores a 2kHz oferecem melhor resolução, mas com prejuízo da penetração. Ao contrário, fontes acústicas com frequências inferiores a 2kHz favorecem o melhor desempenho no item penetração. O gráfico da Figura 13 mostra um exemplo das limitações de penetração de uma fonte acústica do tipo 3,5kHz, que diminui drasticamente com o aumento da granulometria dos sedimentos.

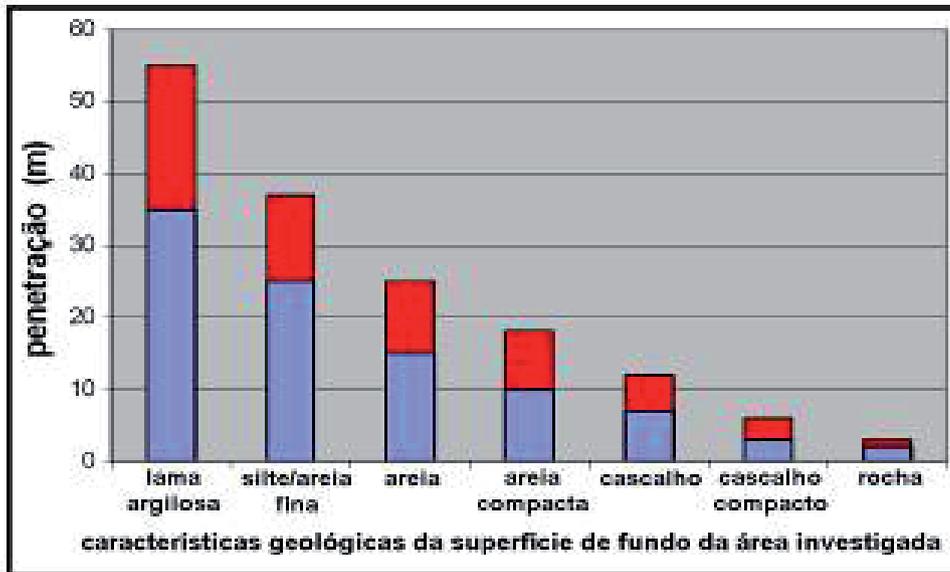


Figura 13 – Desempenho da fonte acústica modelo GeoPulse Pinger 3,5kHz, da Geoacoustics: penetração esperada (em azul) e a variabilidade possível (em vermelho) para a relação penetração do sinal acústico x tipo de fundo. Modificado de: <<http://www.geoacoustics.com>> (Souza, 2006).

Assim, para a investigação de depósitos sedimentares compostos basicamente de sedimentos arenosos (areias e cascalhos) comuns em aluviões de rios, com espessuras superiores a 8-10m, se faz necessário o emprego de fontes acústicas de maior energia e que emitam espectros com frequências inferiores a 2kHz. Fontes do tipo boomer e chirp (preferencialmente os de alta potência) estão entre as mais indicadas para se atingir estes objetivos. Os exemplos ilustrados na Figura 14 mostram excelentes perfis de subsuperfície obtidos com uma fonte acústica do tipo boomer. O primeiro, obtido no canal de Santos, permite observar a extensão do afloramento rochoso em profundidade, assim como a camada sedimentar sobreposta com espessura superior a 15m. O segundo, obtido no lago Guaraciaba, Santo André (SP) mostra uma camada de sedimentos com cerca de 25m de espessura depositada sobre a topografia irregular do embasamento local, assim configurada como resultado das atividades pretéritas de extração de areia.

A Figura 15 ilustra um registro obtido com o emprego de fonte acústica do tipo chirp mostrando, por outro lado, a importância do uso desta fonte acústica de alta resolução na identificação da espessura das camadas subsuperficiais de sedimentos.

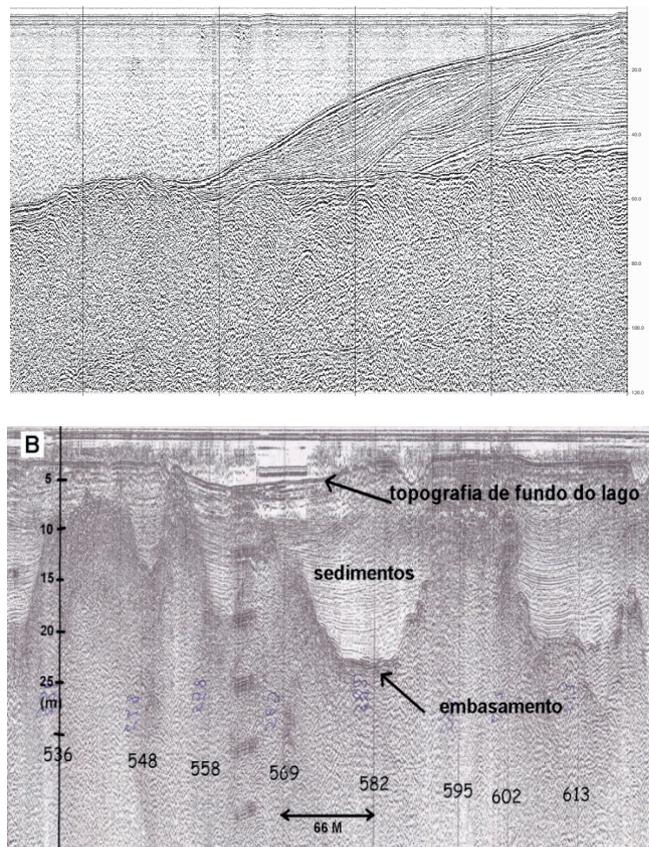


Figura 14 – Registros obtidos por meio do emprego da perfilação sísmica contínua com fonte acústica do tipo boomer. a) à esquerda, registro obtido no canal de São Sebastião, SP (Souza et al., 2006); b) à direita, registro obtido no Lago Guaraciaba, Santo André (SP). Souza (2006) e IPT (2003).

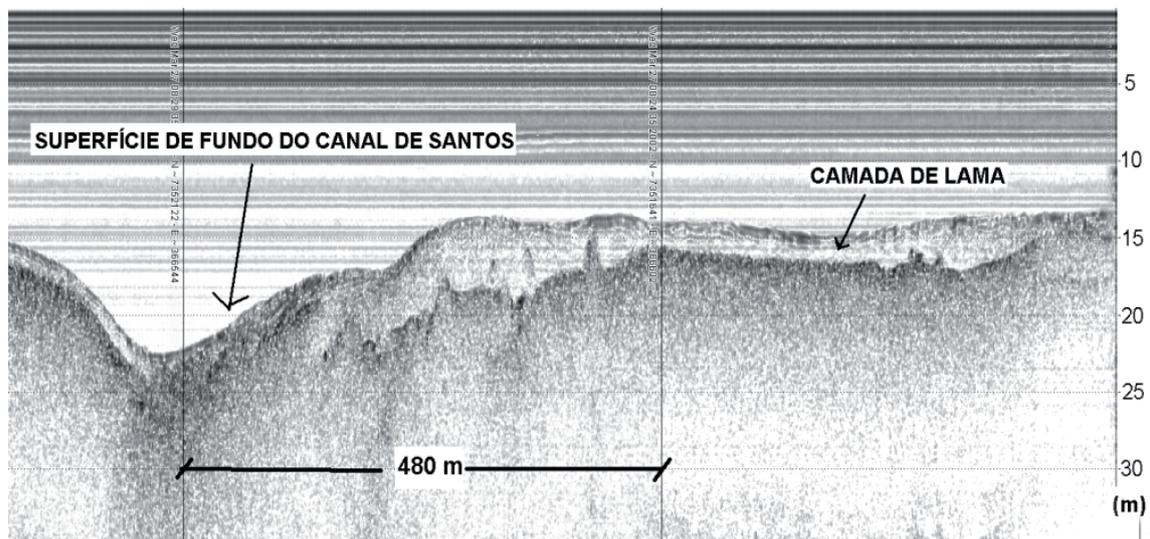


Figura 15 – Registro obtido com emprego de perfilador sísmico de fonte acústica do tipo chirp (2-8kHz). Registro cedido pelo Prof. Dr. M. M. de Mahiques do IO/USP.

O exemplo ilustrado na Figura 14 mostra a potencialidade do método de perfilagem sísmica com o uso de fonte tipo *boomer*, em projeto de dragagem de aprofundamento e de derrocagem submarina, na área do canal de São Sebastião, SP. Este método tem a potencialidade de indicar com grande precisão, o contorno do topo do embasamento rochoso sotoposto por sequências sedimentares com dezenas de metros de espessura.

Não raramente, projetos de engenharia em áreas submersas rasas devem ser elaborados com base de dados em todos os níveis discutidos anteriormente, a saber: espessura da coluna sedimentar rasa, profundidade do embasamento rochoso e imageamento das feições estruturais aflorantes na superfície de fundo. Em projetos desta natureza se faz necessário o emprego de sistemas de aquisição de dados mais complexos com capacidade de administrar, simultaneamente, várias fontes sísmicas, inclusive o sonar de varredura lateral. Exemplos de produtos obtidos de sistemas com capacidade de aquisição multifrequencial estão ilustrados nas Figura 16 e 17, onde se observa nitidamente a natureza diferenciada, sob ponto de vista da resolução e da penetração, dos produtos de cada uma das três fontes acústicas utilizadas simultaneamente (*pinger* 24kHz, *chirp* 10-18 kHz, *chirp* 2-8kHz e *boomer* 0,5-2kHz).

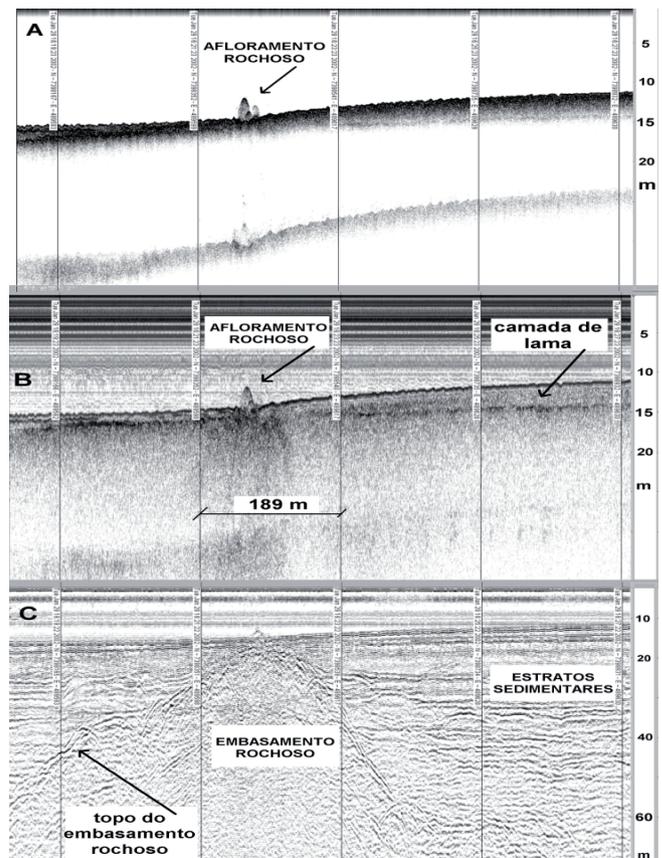
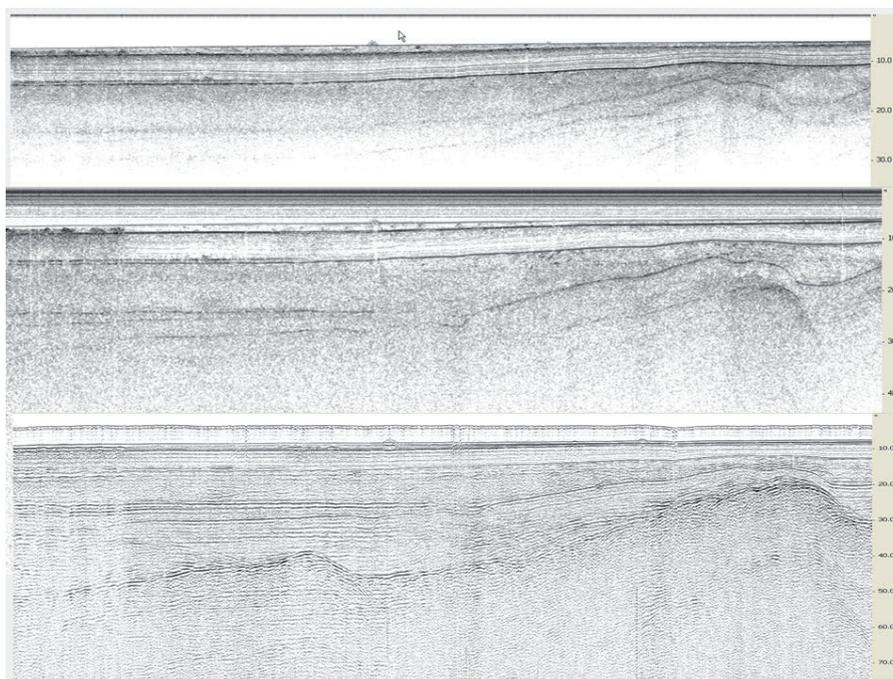


Figura 16 – Perfil sísmico executado com emprego simultâneo de três fontes acústicas (A) *pinger* (24kHz); (B) *chirp* (2-8kHz) e (C) *boomer* (0,5-2kHz). Observa-se nitidamente o desempenho diferenciado das fontes, com relação à penetração do sinal nos estratos sedimentares subjacentes. No perfil A e no perfil B se evidencia na superfície de fundo uma anomalia topográfica que somente no perfil C, pode ser correlacionada com a existência de um corpo rochoso em subsuperfície, permitindo inclusive seu dimensionamento (Souza, 2006).



**Figura 17** – Exemplo de produto obtido do emprego simultâneo de três fontes acústicas (A) *chirp* (10-18kHz); (B) *chirp* (2-8kHz) e (C) *boomer* (0,5-2kHz). Observa-se nitidamente o desempenho diferenciado das fontes, com relação à penetração do sinal nos estratos sedimentares subjacentes. De cima para baixo observa-se o aumento do poder de penetração da fonte acústica empregada. Dados obtidos pelo autor no golfo da Finlândia. Registros cedido pela Meridata.

## CONCLUSÕES

A discussão desenvolvida neste artigo permite concluir sobre a importante contribuição dos métodos geofísicos na investigação de terrenos emersos e submersos, em projetos de engenharia e em estudos ambientais.

Em ambientes terrestres, destacam-se os métodos sísmicos e os métodos elétricos. Na sísmica, além dos consagrados ensaios de sísmica de refração e reflexão, os ensaios que utilizam ondas superficiais vêm, a cada dia, ganhando mais relevância no meio técnico.

Por outro lado, ressalta-se que os ensaios sísmicos do tipo *crosshole* e *downhole*, realizados em furos de sondagens, constituem-se em ferramentas indispensáveis e devem ser conduzidos em caráter prioritário quando da necessidade de maior precisão nas medidas de velocidades ( $V_p$  e  $V_s$ ) em profundidade.

A eletrorresistividade, por outro lado, além das aplicações em geotecnia (mapeamento do embasamento rochoso, estruturas, zonas de faturamento, contatos litológicos, nível d'água, entre

outras), tem um excelente desempenho em investigações ambientais, tendo em vista que as propriedades elétricas dos terrenos sofrem grande influência quando da ocorrência de eventos que alterem as condições naturais dos terrenos (vazamentos, percolação de contaminantes, etc.).

Conclui-se ainda que a utilização do método SP (potencial espontâneo) poderia ser mais explorada pelo meio técnico devido às facilidades operacionais na coleta de dados e pela natureza dos dados adquiridos, permitindo interpretações, mesmo que qualitativas, sobre a direção do fluxo de fluidos em subsuperfície, informação extremamente relevante na exploração de temas ambientais, como monitoramento de plumas de contaminação e vazamento em barragens.

O GPR, embora seja o método de alta resolução, tem aplicações restritas devido ao baixo poder de penetração do sinal eletromagnético de alta frequência. Tem como aplicação principal a identificação de utilidades em subsuperfícies (cabos, dutos, estruturas etc.).

A magnetometria e micro gravimetria encontram aplicações mais restritas em geotecnia, porém

podem ser utilizadas em problemas específicos, tais como no mapeamento de diques básicos e detecção de cavidades, respectivamente.

Por fim, a perfilagem geofísica de poços, que constitui um conjunto de ferramentas geofísicas, das quais se destacam as referentes ao imageamento (BHTV e OPTV), oferecem produtos de alta resolução que muito contribuem em projetos que necessitam informações geológico-estruturais de detalhe (mapeamento estrutural de aquíferos, planejamento de lavras).

Na investigação de ambientes submersos, a análise desenvolvida neste artigo permite concluir que para um adequado desenvolvimento de estudos geológicos e/ou geotécnicos é fundamental proceder primeiramente uma análise criteriosa com relação aos objetivos do projeto. A melhor solução para o problema geológico-geotécnico será encontrada se três questões básicas forem devidamente avaliadas: 1) Qual é o objetivo do empreendimento? 2) Quais são as profundidades a serem investigadas? 3) Qual é o natureza do material a ser atravessado pelos sinais acústicos?

As respostas a estas questões vão indicar se a prioridade do projeto é a investigação da superfície (1) ou da subsuperfície (2), e neste segundo caso, se a prioridade é resolução (3) ou a penetração (4) ou até mesmo se todas essas informações são importantes. Com estes dados, o empreendedor poderá emitir solicitações de levantamentos geofísicos que basicamente irão prever, para o caso (1), levantamentos ecobatimétricos e/ou sonográficos que envolverão a utilização de ecobatímetros de uma ou duas frequências, sistemas multifeixes e/ou sonar de varredura lateral. Neste caso o objetivo do projeto será caracterizar a morfologia da superfície de fundo, através da identificação de feições como afloramentos rochosos, contatos litológicos, estruturas sedimentares, falhas e lineamentos ou, até mesmo, a localização de embarcações naufragadas, dando suporte a operações de busca ou salvamento.

Para o caso (2), os levantamentos geofísicos solicitados deverão ser aqueles relacionados à perfilagem sísmica contínua. Neste contexto, se a prioridade for a resolução (3), o projeto necessitará de dados referentes à espessura camadas subsuperficiais (métricas a submétricas) de sedimentos finos inconsolidados (lamas ou areias

finas). Desta forma, os levantamentos deverão ser executados por meio dos métodos sísmicos que utilizam fontes acústicas que emitem sinais com frequências entre 2 e 30kHz. SBP 3,5kHz, 7kHz, 10kHz, 15kHz, *chirp* de baixa potência 2-10kHz ou *pinger* 24kHz são exemplos de fontes acústicas com essas características que fornecem informações comumente úteis em projetos de dragagem de manutenção em áreas portuárias, hidrovias, de lagoas de decantação e a estudos de assoreamento de reservatórios.

Se a prioridade do projeto é a penetração nos estratos sedimentares arenosos, ou seja, dados sobre a espessura da coluna sedimentar ou da profundidade do embasamento rochoso constituem informações fundamentais, os levantamentos geofísicos a serem solicitados envolvem também ensaios de perfilagem sísmica contínua. Neste caso, todavia, deverão ser empregadas fontes acústicas de alta potência e que emitem sinais com frequências abaixo de 2kHz. *Sparkers*, *boomers* e *chirps* de alta potência, estão entre as principais fontes acústicas utilizadas para estes objetivos. As Figuras 15, 16 e 17 ilustram produtos da utilização de fontes acústicas desta natureza. Em alguns casos onde resolução e penetração são requeridas, o emprego simultâneo de várias fontes acústicas é recomendável, para obtenção de resultados semelhantes aos ilustrados nas Figura 16 e 17.

Ressalta-se finalmente que a investigação geofísica em terra e em água, não prescinde de informações geológicas oriundas de sondagens ou amostragens. Observa-se ainda que o emprego de duas ou mais técnicas de investigação geofísica, sempre conduzirão à minimização das inerentes ambiguidades dos métodos geofísicos, tendo como consequência a obtenção de um modelo geológico-geotécnico final da área investigada mais consistente.

## BIBLIOGRAFIA

Abreu J.G.N, Klein A.H.F, Diehl F.L, Menezes J.T, Santos M.I.F. 2005. A experiência da alimentação artificial de praias no litoral centro-norte do estado de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2. Vitória-ES. **Anais**. CD-ROM.

ASTM-D4428/D4428M. 2007. **Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing**, 11 p.

- ASTM-D7400. 2008. **Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing**, 11 p.
- Baradello, L. Bratus, A., Nieto, Y.D., Paganini, P., Palmieri, F. An interdisciplinary geophysical approach to detect cavities in a karst region. 2001. In: SBGF, International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 7, **Expanded Abstracts**. CD-ROM.
- Bokhonok, O. 2011. Sísmica de Reflexão Rasa Multicomponente: Aquisição e Inversão de Tempos de Trânsito e Amplitudes. **Tese de Doutorado**. IAG-USP. 162p.
- Caris, J.P.T.; Van Asch, T.H.W.J. 1991. Geophysical, geotechnical and hydrological investigations of a small landslide in the French Alps. **Engineering Geology**, 31: 249-276,
- Castilhos J.A & Gré J.C.R. 1996. Erosão costeira nas praias da ilha de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador-BA. **Anais**, 4: 417-420.
- Danielsen, B.E; Torleif Dahlin, T. 2009. Comparison of geoelectrical imaging and tunnel documentation at the Hallandsås Tunnel, Sweden. **Engineering Geology**, 107: 118-129.
- Davis, J. L., Annan, A. P. 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, 37, n.5: 531-551.
- Debeglia, N.; Bitri, A.; Thierry, P. 2006. Karst investigations using microgravity and MASW; Application to Orléans, France. **Near Surface Geophysics**, 215-225.
- Dobecki, T.L., Romig, P.R. 1985. Geotechnical and groundwater geophysics. **Geophysics**, v.50, n.12:2621-2636.
- Dourado, J.C. 1984. **A utilização da sísmica na determinação de parâmetros elásticos de maciços rochosos e terrosos "in situ"**. Publicações de artigos técnicos da ABGE, n.8. São Paulo, 12 p.
- Duarte, O.O. 2010. **Dicionário enciclopédico inglês-português de geofísica e geologia**. 4ªed. SBGf, Rio de Janeiro, 388p.
- Gallas, J. D. F. 2005. O método do potencial espontâneo - uma revisão sobre suas causas, seu uso histórico e suas aplicações atuais. **Brazilian Journal of Geophysics**, 23, n.2: 133-144.
- Gandolfo, O.C.B. 2007. Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa. **Tese de Doutorado**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 215 p.
- Gandolfo, O. C. B. 2011. Ensaio sísmicos (refração utilizando ondas P e S e ensaio com ondas superficiais) na caracterização geotécnica de um aterro. In:12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society, **Expanded Abstracts**. SBGf, Rio de Janeiro, CD-ROM.
- Griffiths, D.H. & King, R.F. 1983. **Applied geophysics for geologists & engineers**. 3ed. Pergamon Press, 230 pp.
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2003. Levantamento batimétrico no lago do parque Guaraciaba e caracterização geológico-geotécnica das encostas marginais - município de Santo André, SP. **Relatório Técnico** 66.080.
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2006. Avaliação dos processos erosivos na bacia hidrográfica do córrego da Lagoa Seca, município de Brotas, SP. **Parecer IPT** 10.724-301.
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2010. Ensaio *crosshole* em área da Eldorado Celulose e Papel, município de Três Lagoas, MS. **Relatório Técnico** 117.483-205.
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2011 Levantamentos geofísicos no entorno das células de armazenamento na área da rua Cápua, município de Santo André-SP. **Relatório Técnico** 120.311-205.
- Israil M.; Pachauri, A.K. 2003. Geophysical characterization of a landslide site in the Himalayan foothill region. **Journal of Asian Earth Sciences**. v.22, n.3: 253-263.

- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. 2009. **Geofísica de exploração**. Oficina de Textos, 438 pp.
- Kruse, S.E.; Grasmueck, M.; Weiss, M., Viggiano, D. 2006. Sinkhole structure imaging in covered Karst terrain, **Geophysical Research Letters**, 33.16.
- Klessig L.L. 2001. Lakes and society: The contribution of lakes to sustainable societies. **Lakes Reserv. Res. Manage.**, 6: 95-101.
- Lankston, R.W. 1990. High-Resolution Refraction Seismic Data Acquisition and Interpretation. In: **Geotechnical and Environmental Geophysics**, Serie Investigations in Geophysics. Ed. Stanley H. Ward - Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, v.I: Review and Tutorial, p.45-73.
- Lima R.C.A, Coutinho P.N, Maia L.P. 2002. Estudo da erosão marinha na praia do Pontal da Barra - Maceió, AL. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41. João Pessoa-PB. **Anais**, 1: 101.
- López R.A & Marcomini S.C. 1996. Impacto ambiental generado por asentamientos urbanos en zonas costeras. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador-BA. **Anais**, 4: 484-488.
- Maia L.P, Carvalho A.M, Monteiro L.H.U. 2002. Projeto de recuperação da praia de Iracema-CE. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41. João Pessoa-PB. **Anais**, 1:102.
- Mansor L.M. 1994. Disposição final de resíduos sólidos em áreas costeiras: avaliação geoambiental preliminar da planície costeira do RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. Balneário de Camboriú-SC. **Boletim de Resumos Expandidos**, p.27.
- Mazel, C. 1985. **Side Scan Sonar training manual**. New York, Klein Associates. Inc. Undersea Search and Survey. 144p.
- Milson, J. 2003. **Field Geophysics**. 3ed. Wiley. 227 pp.
- Morais J.O, Magalhães S.H.O & Rodrigues A.C.B. 1996. Processos de erosão e assoreamento no litoral a oeste de Fortaleza-CE. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador-BA. **Anais**, 4: 413-416.
- Neumann V.H, Leitão S.N, Queiróz C.M, Maia L.P. 1996. Estudos sedimentológicos, geomorfológicos e impactos ambientais causados pela implantação do porto na Laguna de Suape - PE. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador-BA. **Anais**, 4: 496-499.
- Orellana, E. 1972. **Prospeccion geoelectrica en corriente continua**. Madrid, Paraninfo, 523pp.
- Parasnis, D.S. 1997. **Principles of Applied Geophysics**. 5.ed. Chapman and Hall, London, 429pp.
- Park, C.B., Miller, R.D., Ryden, N., Xia, J., Ivanov, J. 2005. Combined use of active and passive surface waves. **Journal of Engineering and Environmental Geophysics**, 10, (3):323-334.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J. 1999. Multichannel analysis of surface waves. **Geophysics**, v. 64, n.3:800-808.
- Pereira L.C.C, Medeiros C, Freitas I.C, Carvalho P.V.V.D.B.C. 1996. Morfologia e hidrodinâmica da praia de Casa Caiada. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador-BA. **Anais**, 4: 472-476.
- Prado R.L. 1994. O ensaio sísmico entre furos ("crosshole") no estudo de maciços terrosos e rochosos. **Dissertação de mestrado**. IAG-USP. São Paulo, 123 p.
- Reynolds, J.M. 1997. **An introduction to applied and environmental geophysics**. John Wiley & Sons, New York, 796pp.
- Sjogren, B., Ofsthus, A., Sandberg, J. 1979. Seismic classification of rock mass qualities. **Geophysical Prospecting**, 27:409-442.
- Souza L.A.P. 1988. As técnicas geofísicas de Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e Sonografia aplicada ao estudo de aspectos geológicos e geotécnicos em áreas submersas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém-PA. **Anais**, 4: 1551-1564.
- Souza L.A.P, Gandolfo O.C.B., Cordeiro R.P, Tessler MG. 2006. A investigação geofísica em projetos de dutovias. In: II Simpósio Brasileiro de Geofísica, Natal-RN. **Resumos Expandidos**. CD-ROM.

- Souza L.A.P. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. **Tese de Doutorado**. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 311p.
- Souza L.A.P., Bianco R, Tessler M.G. & Gandolfo O.C.B. 2007. Investigações geofísicas em áreas submersas rasas: qual o melhor método?. In: 10<sup>o</sup> Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro-RJ. **Resumos Expandidos**. CD-ROM.
- Souza, L.A.P, Miranda Filho, O.F. & Mahiques, M.M. 2008. Perfilagem Sísmica em águas rasas: qual a melhor fonte acústica? In: III simbgf, Belém. **Anais**, CD-ROM.
- Souza, L.A.P.; Silva, R. F.; Iyomasa, W. S. 1998. Investigações geofísicas. In: Oliveira, A. M. S., Brito, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). Métodos de investigação. p.165-183.
- Souza, L.A.P., Tessler, M.G. & Yassuda, E.A. 2010a. Importância dos métodos geofísicos no estudo de áreas de descarte. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém-PA. **Anais**. CD-ROM.
- Souza, L.A.P., Alameddine, N & Iyomasa, W. S. 2010b. Aplicação de métodos sísmicos em estudos de dinâmica fluvial: o exemplo do rio Araguaia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém-PA. **Anais**. CD-ROM.
- Souza, L.A.P., Alameddine, N. & Yassuda, E.A. 2011. Geophysical methods to support ocean outfall monitoring: a side-scan application. In: International Symposium on Outfall Systems, May 15-18, 2011, Mar del Plata, Argentina. **Anais**, CD-ROM.
- Steeple, D.W., Miller, R.D. 1990. Seismic Reflection Methods Applied to Engineering Environmental and Groundwater Problems. In: **Geotechnical and Environmental Geophysics**. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, v.1: Review and Tutorial, p.1-29.
- Taioli, F., Dourado, J.C., Cordeiro, R.P. 1993. Determinação de matações por sísmica de reflexão de alta resolução. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, **Anais**, v.1, p.219-226.
- Taioli, F; Marchioreto, A; Machado, R.; Gallas, J.D.F. 2009. Boulders mapping by using resistivity imaging survey. In: SBGF, International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 11, **Expanded Abstracts**. CD-ROM.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sherif, R.E. 1990. **Applied Geophysics**. 2ed. Cambridge University Press, Cambridge, 770pp.
- Tessler M.G & Mahiques M.M. 1996. Processos erosivos e deposicionais no litoral paulista. Estudo de caso no sistema Cananéia-Iguape. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador-BA. **Anais 4**: 456-459.
- Tóth T, Vida R & Horváth F. 1997. Shallow-water single and multichannel seismic profiling in a riverine environment. **Lead. Edge**, p.1691-1695.
- Trainini D.R. 1994. Diagnóstico preliminar de aspectos ambientais do litoral norte do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. Balneário de Camboriú-SC. **Boletim de Resumos Expandidos**, 1: 26.
- Ward, S.H. 1990. Resistivity and induced polarization methods. In: **Geotechnical and Environmental Geophysics**. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, v.1: Review and Tutorial, p.147-189.
- Xia, J.; Xia, J.; Miller, R.D.; Park, C.B. 1999. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. **Geophysics**, 64, n.3:691-700



# CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA POR CLASSIFICAÇÃO DE UNIDADES DE TERRENO E AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE E APTIDÃO



NORIS COSTA DINIZ

Universidade de Brasília – UnB – IG – noris@unb.br

## RESUMO ABSTRACT

A cartografia geotécnica pode ser considerada genericamente como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial; e permite a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção antrópica sobre o meio físico. Segundo sua finalidade, as cartas geotécnicas podem ser aplicadas: aos planejamentos urbano e territorial, onde estariam as cartas de aptidão urbana; à suscetibilidade e riscos geológicos (*hazard*) a processos do meio físico; e à viabilidade à implantação de empreendimentos (processos tecnológicos). A contribuição da cartografia geotécnica ao planejamento regional e urbano utiliza a análise fenomenológica do meio físico, no sentido de identificar e caracterizar processos que condicionem problemas existentes ou esperados, para melhor orientar o uso e ocupação do solo, a análise ambiental e as obras civis. A geologia de engenharia classifica e avalia os processos do meio físico, quanto às limitações e potencialidades, representando estes processos cartograficamente através do mapeamento geológico-geotécnico. Além disto, avalia esses recursos quanto à adequabilidade, segundo a capacidade de suporte territorial, segundo critérios que visem a minimização de problemas e o desenvolvimento de infraestrutura para estudos de viabilidade, projetos básico e executivo, construção, manutenção e monitoramento de empreendimentos que beneficiem a sociedade.

A metodologia de classificação de terrenos baseia-se na caracterização, análise qualitativa e avaliação quantitativa de atributos de geoformas, que caracterizam as Unidades de Terreno - UTs. Estas unidades que compõem uma síntese associação natural homogênea, em termos de comportamento geológico-geotécnico e desempenho das infraestruturas nos terrenos, representados por propriedades, parâmetros e atributos de geologia, geomorfologia e distribuição de solos no perfil tropical (laterítico/ saprolítico). Estas, podem definidas a partir de mapas específicos existentes, por fotointerpretação, por geomorfometria e por mapeamento de campo. São apresentados os critérios de avaliação para os diversos temas, em termos de: suscetibilidade e riscos a processos do meio físico, como por exemplo, movimentos gravitacionais de massa, erosão, subsidências cársticas, colapsabilidade de solos macroporosos; aptidão à urbanização e aptidão de recursos em materiais de construção civil, dentre outros. Foram realizadas classificação e avaliação de terrenos para os níveis de Província, Sistema e Unidade de Terreno.

## ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING BY LAND SYSTEM CLASSIFICATION AND HAZARD AND CAPABILITY ASSESSMENT

The engineering- geological mapping can be generically considered as technical of integration, synthesis and representation of thematic information in engineering geology issues, due to guide planning and urban environmental management and planning; and allows the formulation of models of predictability of behavior and the study of land solutions to problems resulting from human intervention on the physical environment. According to its purpose, the maps can be applied for geotechnical urban and territorial planning, where would the maps of urban capability, the susceptibility and geological risk (*hazard*) of the physical processes, and the feasibility of construction of projects (technological processes).

The contribution of engineering geological mapping is to regional planning and urban uses of the physical-environmental basis with the intention of guiding land use, environmental analysis and civil works. The engineering geology classifies and analyzes the natural resources of the physical environment, in that limitations and potential, representing this process by engineering geological mapping. In addition, to evaluate these resources, regarding the suitability criteria, that aim to balance development and for feasibility studies, design, construction, management and monitoring.

The land system classification methodology is based on obtaining attributes of landforms, featuring Terrain Units (TU's). These Terrain Units comprise a natural association in terms of geology, geomorphology and soil distribution, are defined from existing specific maps, photointerpretation and field work. It has been performed classification and evaluation of Terrain for the levels of Province, Pattern and Unit Systems. It has been compiled Tables for evaluation criteria for the various themes such as the susceptibility of the physical processes such as gravitational mass movements, to feasibility for urban use and occupation and to capability in construction materials, among others.

## INTRODUÇÃO

A recente Política Nacional de Redução de Riscos e Resposta a Desastres, prevê a aplicação da cartografia de suscetibilidade, de riscos e geotécnica de aptidão à urbanização. Essa política pública integra diversos setores que atuam na gestão de riscos, dentre eles a geologia de engenharia.

No contexto internacional, enquanto que a década de prevenção de riscos, década de 90, conduzida pela UNDRO, contou com forte influência das geociências, a partir da reunião das nações Unidas em Johannesburg, Rio +10, em 2002, a questão de mudanças climáticas foi destacada como prioridade, tendo sido, desde então orientada por segmentos da meteorologia e da hidrodinâmica. Essa condução, hoje se reflete no fomento de Programas Internacionais, voltados à identificação e caracterização de cenários de mudanças climáticas, acompanhadas de mudanças globais, com direcionamento de fomento a programas de adaptação a estas mudanças, com foco na busca por bases de dados, para a elaboração destes cenários. Neste sentido, se por um lado as modelagens geodinâmicas para obtenção de índices críticos de chuvas tem importante papel, por outro, a cartografia geotécnica de suscetibilidade, riscos e aptidão à urbanização, são evidentemente fundamentais e prementes, como pano de fundo fundamental desta geodinâmica, quanto aos processos do meio físico, seus condicionantes e consequências.

Depois de cerca de 30 anos, de aplicações de diversas iniciativas locais, nos estados e municípios mais afetados, principalmente a partir de cartas geotécnicas e de riscos, como aquela feita por Prandini & Iwasa, em Osasco, pelo IPT (1978), e em seguida a Carta Geotécnica de Santos e São Vicente (IPT, 1979). Nesta a gestão participativa de então criou a Secretaria de Morros, e a partir daí, essa experiência foi multiplicada e difundida em todo Brasil, por Universidades, Institutos de Pesquisas, Serviços Geológicos Estaduais. Desde então, os novos desenvolvimentos metodológicos, técnico-científicos, agregaram, principalmente, experiências locais na interação com as comunidades. O que foi possível porque os agentes locais passaram a participar e modificar as próprias cartas geotécnicas e de riscos, adotando práticas,

como a remoção do lixo e condução de drenagens, reduzindo o próprio grau de risco.

Este processo histórico de desenvolvimento da cartografia geotécnica e de riscos no Brasil ganhou outra dimensão, com o porte e tipologia do evento catastrófico que ocorreu na Região Serrana do Rio de Janeiro, no início do ano de 2011, mobilizando o poder público, os técnicos, e pesquisadores que atuam com riscos geológicos. Como resultado, foi elaborada a nova Política Nacional de Redução de Riscos e Resposta a Desastres, que teve como resultados imediatos a criação do CEMADEN, o fortalecimento da capacidade de resposta a desastres, por meio da efetiva implementação do CENAD, e a edição da MP 547, seguida da Lei 12.608, que prevê o cadastro de municípios, e com isso a demanda por cartas de risco (1:2.000), cartas geotécnicas de aptidão urbana (1:5.000-1:10.000) e cartas de suscetibilidade a deslizamentos dos municípios (1:25.000). Como um programa destacado no PAC 2, formulado no PPA 20012-2015, essas dentre outras, ações estão em curso.

O desafio atual, que vem sendo discutido no âmbito da rede de pesquisadores vinculados ao sistema MCTI, que apoiam ao CEMADEN, CENAD, CPRM, DRM, IG-SP, MINEROPAR, CPRM, Ministérios das Cidades e Universidades, é a modelagem geodinâmica dos fenômenos condicionados por distintos domínios de Geodiversidade, para que sejam efetivamente considerados nos modelos de previsão antecipada, incorporando a experiência nacional já desenvolvida e fomentando novos projetos de pesquisa, que os identifiquem, proporcionando alertas mais condizentes e que permitam subsidiar uma melhor capacidade de resposta, que considere nossa realidade tropical brasileira.

Este trabalho aborda a cartografia geotécnica em compartimentação por unidades de terreno, e caracterização por perfis típicos de solos tropicais, conduzida pela análise fenomenológica de suscetibilidade a processos do meio físico, voltada para recomendações de soluções de problemas quanto à aptidão à urbanização. Para tanto, são apresentados em duas partes, os princípios da cartografia geotécnica, a classificação de unidades de terreno e um exemplo de aplicação, num resgate histórico, do exemplo da carta geotécnica da Folha de Aguaí (Souza-Diniz, 1992), com respectivas tabelas de classificação e avaliação, cujos critérios são

demonstrados em tabelas, na primeira parte. E na segunda parte, o referencial teórico da cartografia geotécnica e dos sistemas de análise de terreno, levantados, por Souza-Diniz (1992) e Diniz (1998), e atualizado, de forma a subsidiar os novos trabalhos de cartografia geotécnica, nessa fase atual de demandas para geologia de engenharia.

A cartografia geotécnica, segundo DINIZ (1998), pode ser considerada genericamente como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial; e permite a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção antrópica sobre o meio físico.

PARTE I

1 PRINCÍPIOS DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

1.1 Conceito de Cartografia geotécnica

A cartografia geotécnica corresponde a um campo de interface das áreas do conhecimento científico da Geologia de Engenharia e da Geomorfologia de Engenharia, ambas da Geologia e Geomorfologia aplicadas à Geotecnia. Por meio da análise dos dados geológicos do meio-físico (relevo /material inconsolidado /rocha) prevê-se o comportamento deste meio físico em face da ocupação antrópica.

1.2 Tipos de cartas geotécnicas segundo a finalidade

Segundo sua finalidade, as cartas geotécnicas podem ser classificadas em três tipos gerais segundo a sua aplicação em ordenamento territorial, em avaliação de processos do meio físico, em estudos de implantação de empreendimentos. As primeiras seriam cartas de aptidão à urbanização; as segundas as cartas de suscetibilidade, perigo e riscos geológicos (*hazard*) a processos do meio físico; e as terceiras as cartas geológico-geotécnicas para estudos de viabilidade, projetos básicos e projetos executivos de implantação de empreendimentos de infraestrutura, que seriam compostos por processos tecnológicos, (Diniz, 1998), Figura 1.

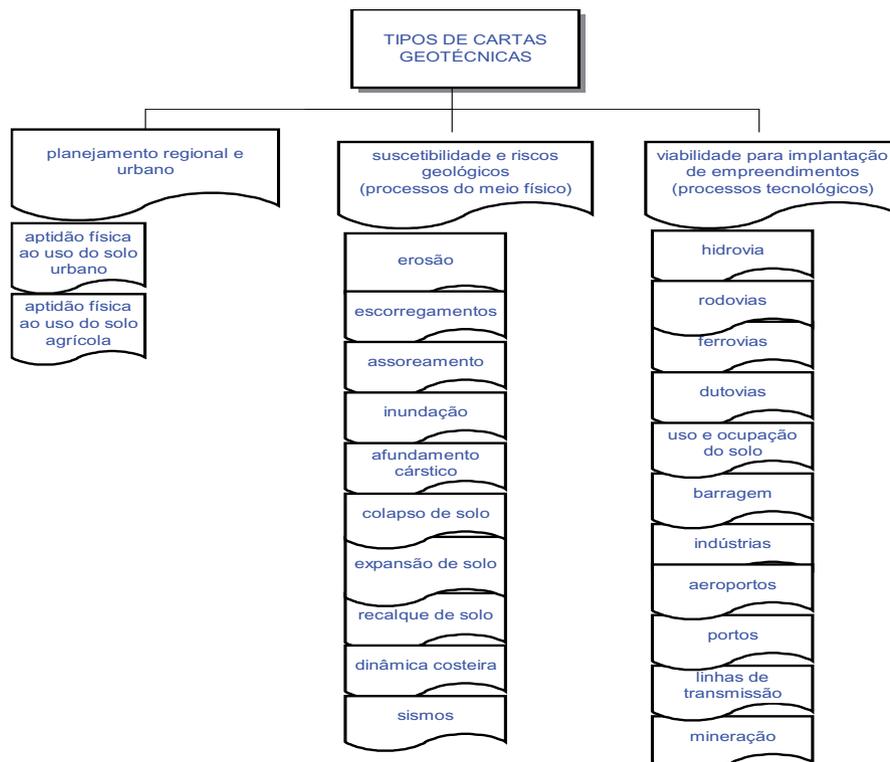


Figura 1: Tipos de Cartas Geotécnicas. Fonte: DINIZ, 1998.

### 1.3 Abordagem metodológica da Cartografia geotécnica

A Cartografia geotécnica é um meio extremamente rico e apropriado para o exercício metodológico das geociências. Enquanto área de aplicação da geologia de engenharia, sua elaboração passa, na abordagem fenomenológica e de problemas, pelo conhecimento dos fenômenos e processos da natureza, pela geologia, e da apropriação e transformação de seus recursos, pela engenharia. Desta maneira, a cartografia geotécnica traz a superação das visões fragmentadas do meio físico, sendo a integração dos conhecimentos das diversas áreas das geociências

que tratam do meio físico, ao mesmo tempo em que traz os limites e o potencial em possibilidades de usos e recursos para ocupação antrópica (Diniz-Souza, 1992).

Utilizando-se principalmente do pensamento indutivo, o método na cartografia geotécnica classifica, analisa e avalia o terreno. No processo de cartografia (Diniz-Souza, 1992) seguindo as três etapas, de inventário, análise e síntese, é que se vai elaborar a metodologia ao mesmo tempo em que se constrói seu objeto, que é a compartimentação em Unidades de Terreno (Tabela 1). Neste processo, no caso do mapeamento geotécnico, irá prevalecer a síntese sobre a análise, especialmente na fase de avaliação geotécnica.

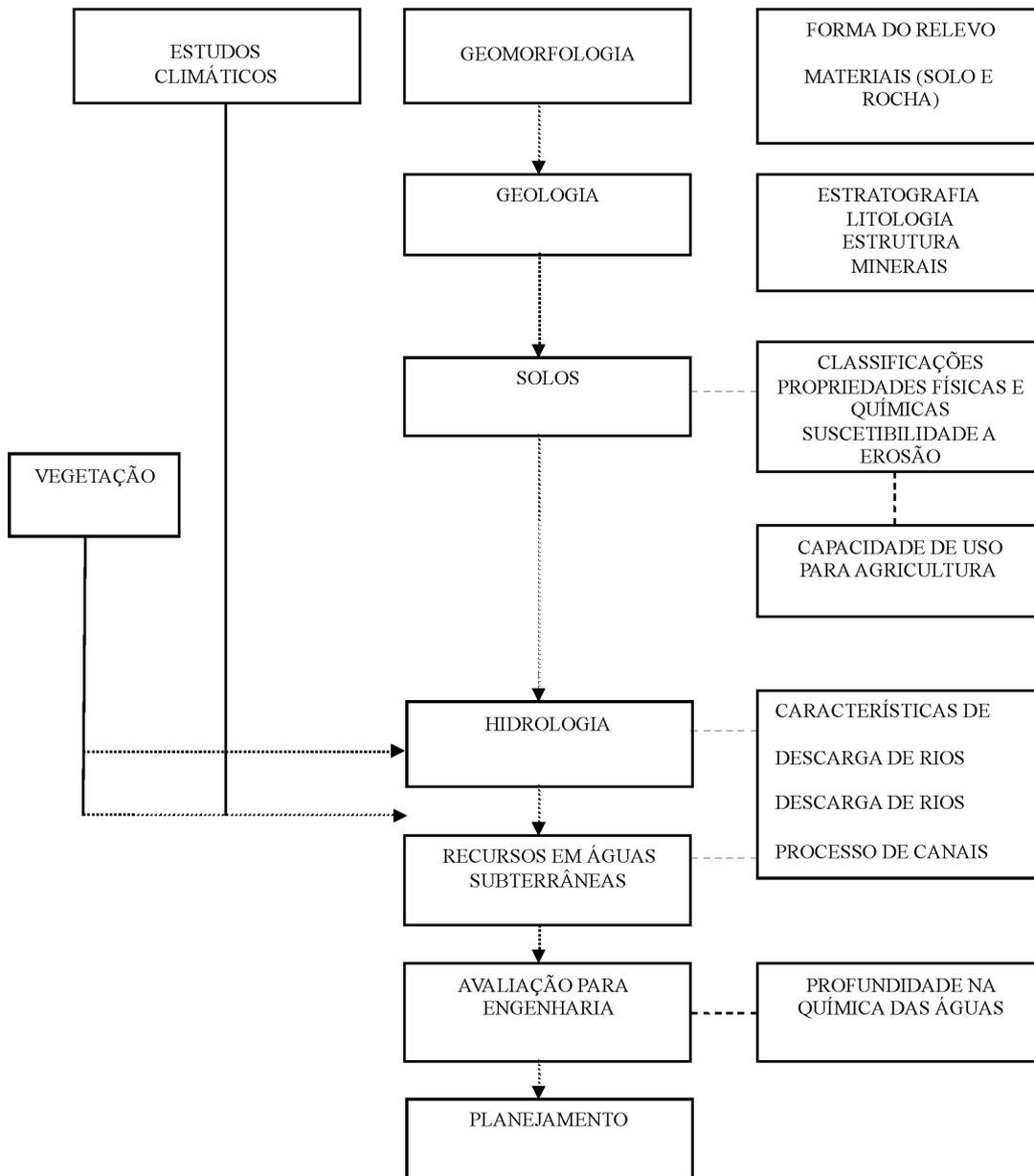
**Tabela 1** - Atributos para estabelecer Unidade de Terreno (UT). Fonte: SOUZA-DINIZ, 1992

MEIO FÍSICO	CARACTERÍSTICAS
GEOFORMA	Feições de relevo, cicatrizes, depósitos Sistemas de formas de relevo (Ponçano, 1979)
MATERIAL INCONSOLIDADO	Perfil de alteração Processo de alteração Textura Origem Rocha original Espessura
LITOLOGIA-ESTRUTURA	Litotipo geotécnico
MORFOMETRIA	Declividade Amplitude de relevo Densidade de drenagem Forma da encosta

Segundo FOOKES & GRAY (1987) apud COOKE & DOORNKAMP (1990), a geologia de engenharia se relaciona com a mecânica de rochas estudando as águas subterrâneas e os materiais rochosos, enquanto que a geomorfologia de engenharia se relaciona com a mecânica de solos tratando das águas superficiais e dos materiais inconsolidados, ambas implicando em geotecnia ou engenharia civil.

A Figura 2 ilustra estas relações, evidenciando a importância relativa da geomorfologia nos trabalhos de geotecnia. Nos países de clima tropical, pela existência de espesso material inconsolidado de solos residuais, como principal condicionante dos problemas geológico-geotécnicos, o papel da geomorfologia é ainda mais evidente.

SEQUÊNCIA DE OBTENÇÃO DE DADOS AMBIENTAIS COM BASE EM INFORMAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS



**Figura 2** - Quadro de Referência Teórico do Mapeamento Geotécnico.  
**Fonte:** (Cooke & Doornkamp,1990 apud SOUZA - DINIZ, 1992).

Essencial à automação da cartografia geotécnica é a modelagem e elaboração de uma base de dados, para a produção de mapas, e que permita as mesmas funções desenvolvidas nos procedimentos analógicos: análise fenomenológica de processos do meio físico visando identificar o desempenho de terrenos; ou ainda retroanálises e generalização cartográfica, a partir de estudos específicos de problemas existentes ou esperados (Diniz-Souza, 1992).

A modelagem é um processo complexo, em função do número de variáveis envolvidas nos processos do meio físico. No entanto, deve-se, dentro deste quadro, buscar a significação possível a fim de não gerar, por exemplo, um número exagerado de unidades geotécnicas, dificultando a tarefa de análise.

Outra constatação na cartografia geotécnica é o grande número de mapas básicos e intermediários gerados, contendo muitas vezes atributos

em excesso e que acabam não sendo considerados quando da integração dos mapas por cruzamento (superposição ou overlay), representando um desperdício de tempo e recursos. Isso pode acontecer tanto no processo convencional como no digital, e impõem-se um esforço metodológico para evitar esse inconveniente, principalmente ao definir os atributos e dados importantes.

#### 1.4 Metodologia da cartografia geotécnica

Para elaborar a carta geotécnica e evitar-se a inconsistência gerada pela superposição de mapas, o ideal é a compartimentação por geomorfometria, que permite compor, a partir do MDT, de ortofotocartas e de imagens de satélite de alta resolução, sejam óticas ou multiespectrais, a análise de declividade, amplitude, curvatura da vertente (encosta), densidade de drenagem, padrão de drenagem, tipo de geoforma, padrão de geoforma. A interpretação de geoformas, associada à análise da densidade em área de cicatrizes de feições erosivas e deposicionais, permitirá a classificação do grau da suscetibilidade, do perigo e do risco e da aptidão.

A consideração de processos do meio físico exige, pois, o destaque dos aspectos relevantes, através da escolha de atributos condicionantes e rejeição dos secundários. Isto permite a otimização do trabalho de campo, das amostragens de solo e dos ensaios de laboratório, para determinação de parâmetros geológico-geotécnicos, mas somente, quando associado à análise dos solos das Unidades de Terreno, na catena (toposequência ou perfil do relevo) e ao perfil do solo tropical, posicionado no topo, na meia vertente e na base da vertente. No perfil do solo tropical, por sua vez, diferenciando-os os solos lateríticos (residuais maduros, colúvios, superficiais), dos solos saprolíticos (residuais jovens ou saprolitos, elúvios, de alteração).

Outra questão fundamental é a consideração da dinâmica dos processos do meio físico (o que ocorre na natureza) frente às intervenções de empreendimentos de obras civis que deflagram o desenvolvimento de processos tecnológicos (ação humana direta ou indireta). Isto tem reflexos na modelagem da cartografia geotécnica aplicada.

#### 1.5 Avaliação de suscetibilidade e aptidão

A contribuição da cartografia geotécnica ao planejamento regional e urbano utiliza bases do meio físico na intenção de orientar o uso da terra, a análise ambiental e as obras civis. A geotecnia classifica e analisa os recursos naturais do meio físico quanto às limitações e potencialidades, representando este processo cartograficamente através do mapeamento geotécnico. Além disto, avalia esses recursos quanto à suscetibilidade, perigo, risco, aptidão, adequabilidade, enfim, a capacidade de suporte (acolhida, resiliência) do território, segundo critérios que visem ao equilíbrio e desenvolvimento para estudos de viabilidade, projeto, construção, manutenção e monitoramento.

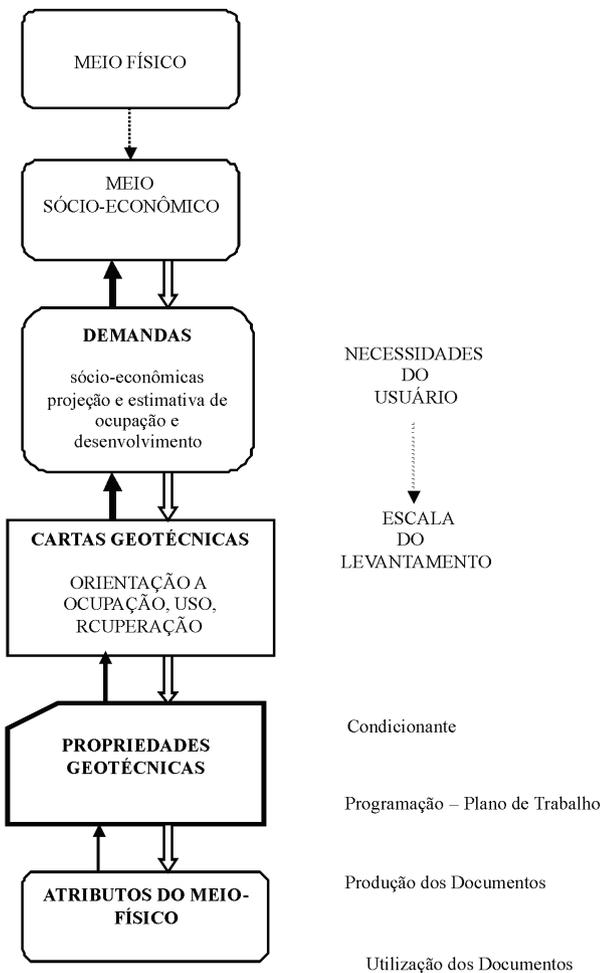
#### 1.6 Escala da cartografia geotécnica

Onde a escala da cartografia geotécnica é definida pela demanda do usuário que estabelece sua finalidade, como apresentado na referência teórica da cartografia geotécnica, (Diniz-Souza, 1992), na Figura 3. A finalidade também orientará a escolha de atributos e parâmetros relativos às propriedades a serem levantados no campo e no laboratório, e posteriormente representados na carta geotécnica.

#### 1.7 Unidades de análise e aplicações da carta geotécnica

Como a cartografia geotécnica trata de processos do meio físico, a unidade de análise é a bacia ou sub-bacia hidrográfica, o que pode significar a utilização de bases cartográficas além da área dos municípios.

Com o fortalecimento da política nacional de redução de riscos e resposta a desastres, foi promulgada a Lei 12.608, de abril de 2012, onde, as cartas de suscetibilidade, cartas geotécnicas de aptidão urbana e cartas de risco passam a representar instrumentos de prevenção de riscos e gestão municipal, sendo requisitos, dentre outros, à participação do cadastro nacional de municípios críticos com suscetibilidade a desastres, viabilizando o acesso ao fomento para obras de contenção e drenagem, como uma das principais medidas efetivas dessa política pública de prevenção de riscos.



**Figura 3** – Quadro de Referência Teórica da Cartografia Geotécnica.  
(Fonte: SOUZA -DINIZ, 1992).

Desta forma, os municípios se colocam, como importantes usuários dos produtos da cartografia geotécnica. Para garantir a real aplicação dos subsídios fornecidos pelos trabalhos de cartografia geotécnica, faz-se necessária a parceria entre as instituições mapeadoras e os técnicos municipais garantindo resultados mais favoráveis dos seus investimentos, justificado no caso cartografia geotécnica pelo caráter aplicado do trabalho. Sendo que numa situação ideal a carta geotécnica poderia ser incorporada na base cadastral municipal, georreferenciada em SIG, para IPTU, parcelamentos, loteamentos, habitação, equipamentos públicos, infraestrutura viária, enfim planejamento municipal.

Nestes casos, os limites de representação cartográfica do mapeamento coincidiriam com a divisão política e haveria maior facilidade para a análise das questões socioeconômicas e a cartografia geotécnica corresponderia mais realisticamente às

demandas do usuário, o que se justificaria plenamente.

Por outro lado, num país com as dimensões do Brasil, com potencialidades de desenvolvimento e perspectivas de expansão na ocupação territorial; com problemas críticos, urbanos e fundiários, é indispensável uma política de planejamento territorial do meio físico, que considere suas potencialidades e limitações com vistas ao planejamento regional e urbano adequado.

Esta abordagem, adotada no IPT, exige a análise dos condicionantes e fatores deflagradores dos processos do meio físico, o que concorda com as funções e objetivos da geologia de engenharia e que dizem respeito a aplicações ao planejamento territorial e urbano, ao subsídio para implementação de obras de engenharia e à avaliações ambientais.

A Figura 4 procura mostrar a inter-relação entre os diversos componentes do meio ambiente, e como as relações entre os processos do meio físico e tecnológicos interferem na identificação de atributos relevantes para o modelo preliminar de compartimentação dos terrenos na cartografia geotécnica.

O meio físico condiciona em um primeiro estágio (1), as características do meio biológico, socioeconômico, por realimentação (2) e (3), completam a interação com o meio físico, regulando os processos destes. Os demais fluxos, (4) e (5), decorrem da interação entre os meios biológico, socioeconômico. Dos condicionantes do meio físico e das alterações provocadas pelos empreendimentos, extraem-se os atributos relevantes a serem considerados na elaboração das cartas geotécnicas. Dos problemas resultados pela alteração do meio, como impactos ambientais e conflitos de uso, são determinados escala e finalidade da carta geotécnica. O modelo preliminar de compartimentação é etapa fundamental, quando se considera as propriedades geológico-geotécnicas relevantes às alterações em questão.

## 2 CLASSIFICAÇÃO DE UNIDADES DE TERRENO

### 2.1 Consideração gerais

A metodologia de classificação de terrenos baseia-se na obtenção de atributos de formas de

terrenos (geoformas), que caracterizam unidades de mapeamento de terrenos (TMU's), de acordo com o proposto por Meijerink (1988), ou simplesmente Unidades de Terreno (UT's).

Estas unidades que compõem uma associação natural em termos de geologia, geomorfologia e distribuição de solos, são definidas a partir de mapas específicos existentes, fotointerpretação e trabalho de campo. Como estratégia metodológica de cartografia geotécnica, que considere a compartimentação por Unidades de Terreno e caracterização por perfis típicos de alteração.

Segundo Meijerink (1988) existem diversas classificações de terrenos que atendem as mais variadas demandas, como:

- classificações de análise geomorfológica, usualmente baseada na gênese, com uma estrutura hierárquica (sistemas e elementos de terreno);

- classificações paramétricas ou geomorfométricas, que contém algumas variáveis ou atributos como, amplitude de relevo, micro-relevo, declividade das encostas, classes de vertentes;
- classificações fisiográficas ou de síntese geomorfológica, com ou sem estrutura formal, sendo descritivas por natureza, sem uma hierarquia em complexidade, podendo conter unidades de síntese, ou de fotointerpretação;
- classificações biogeográficas, que consistem em agrupar aspectos de vegetação em relação a aspectos geomórficos e fisiográficos;
- classificação lito-geológicas como as utilizadas em mapas hidrogeológicos e mapas geotécnicos, as quais se distinguem dos mapas de geologia básica, que tem um critério dominante a idade, a litologia e a petrologia.

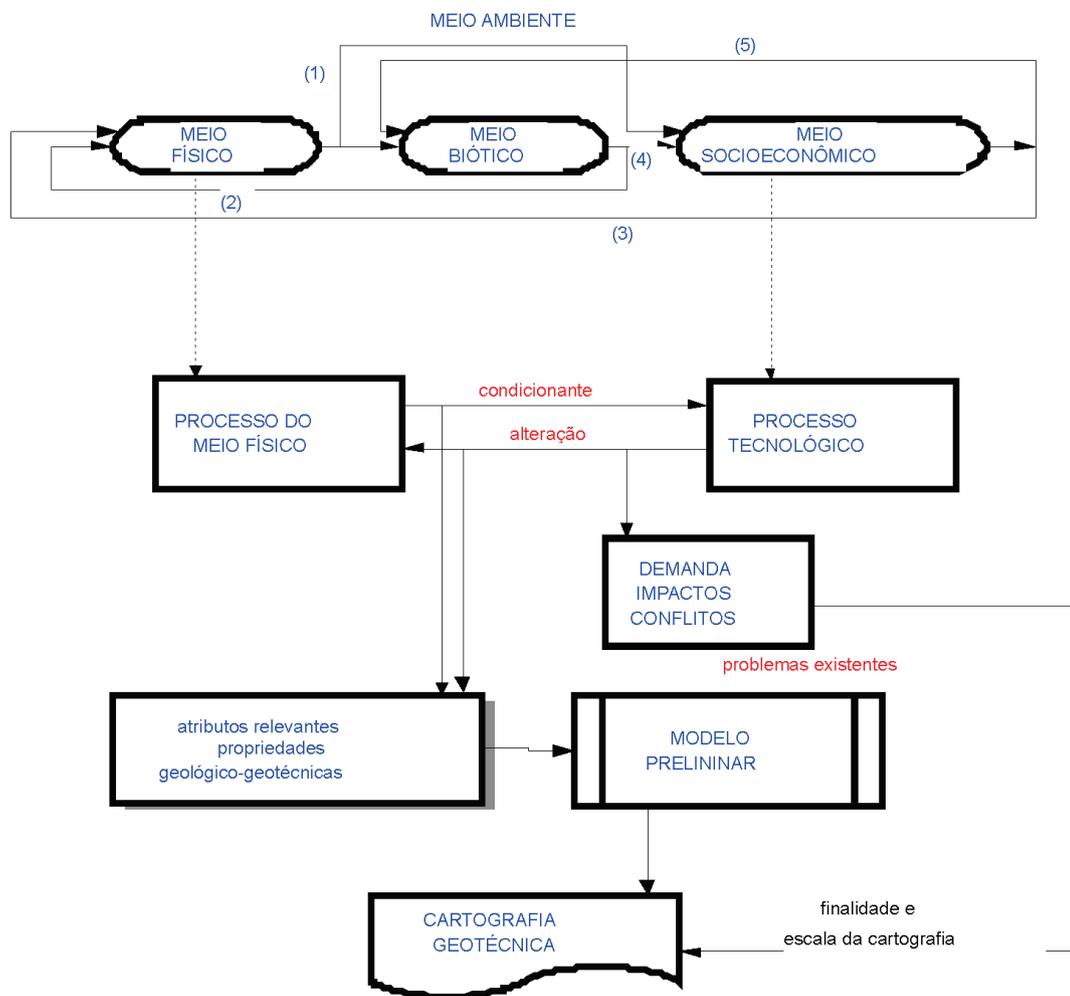


Figura 4 – Modelagem da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, e sua relação com a cartografia geotécnica, segu DINIZ (1998).

Exemplos de aplicação de sistemas de classificação de terrenos podem ser observados na Tabela 2, in Verstappen (1983).

A classificação proposta por Meijerink (1988) utiliza importantes elementos das classificações citadas, com exceção daquelas que incluem aspectos de vegetação e uso do solo. Os quais são excluídos, nesta classificação os aspectos de cobertura são tratados separadamente, já que as combinações da dinâmica de ocupação antrópica em superfície podem ser tratadas com diversas variações de sobreposição no meio físico dependendo do aspecto de uso do solo e problemas que se queira tratar, na interação e evolução de ocupação no tempo sobre as classes de terreno.

A base da compartimentação, utilizada por SOUZA-DINIZ (1992), foram critérios geomorfológicos para a hierarquização das Unidades de Terreno - UT, Tabela 1, sendo que o critério secundário foi o grupo litológico, como se segue:

CLASSIFICAÇÃO	CRITÉRIO
Morfo-estrutura	tectônico-estrutural
Morfo-escultura	grande forma-climático
Província	grande forma-genético
Sistema	padrões de forma
Unidade	forma de relevo
Componente	elemento de forma de relevo

Os conceitos de morfo-estrutura e morfo-escultura foram definidos por Gerasimov & Mescherikov (1968) apud Ross (1990), correspondendo a categorias genéticas necessárias a classificação e análise dos terrenos. As morfo-estruturas correspondem ao substrato que contribui no processo de desenvolvimento do relevo, sendo de diferentes origens e idade. As morfo-esculturas correspondem ao modelado ou à tipologia de formas geradas sobre uma ou várias estruturas através da ação de climas atuais ou passados. Estes conceitos auxiliam na classificação por se referirem a feições e formas de relevo numa hierarquia de escalas, e também por localizarem as Unidades de Terreno no relevo regional, auxiliando na caracterização preliminar de atributos.

## 2.2 Aspectos Geomorfológicos

O mapeamento geomorfológico realizado neste trabalho pretende levantar, preliminarmente, a distribuição dos modelados terrestres inseridos

na área de estudo, considerando as relações e a integração dos fatores estruturais, litológicos, climáticos, pedológicos e morfodinâmicos, a partir de classificações taxonômicas estabelecidas por IBGE (2009) e Ross (1997). Essas classificações são definidas a partir de níveis hierárquicos fundamentados em escalas de análise que compartimentam em ordem decrescente de grandeza. IBGE (2009) estabelece cinco ordens de grandeza (também definidas como táxons), definidas em função de sua escala, como Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevos Simbolizadas, descritas a seguir:

- i. **Domínios Morfoestruturais:** Maiores táxons na compartimentação do relevo. Ocorrem em escala regional e organizam os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas.
- ii. **Regiões Geomorfológicas:** Constituem o segundo nível hierárquico da classificação do relevo. Representam compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais que, sob a ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes, associadas às formações superficiais e às fitofisionomias.
- iii. **Unidades Geomorfológicas:** Terceiro nível ou ordem. Arranjo de formas altimétrica e fisionomicamente semelhantes em seus diversos tipos de modelados. A geomorfogênese e a similitude de formas podem ser explicadas por fatores paleoclimáticos e por condicionantes litológicas e estruturais. Cada unidade geomorfológica evidencia seus processos originários, formações superficiais e tipos de modelados diferenciados dos demais.
- iv. **Modelados:** Quarta ordem. Padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais.
- v. **Formas de relevo simbolizadas:** Quinta ordem. Feições que, por sua dimensão espacial, somente podem ser representadas por símbolos lineares ou pontuais.

Tabela 2 – Sistemas de Classificação de Terrenos (Verstappen, 1983, modificado por SOUZA-DJINIZ, 1992).

NÍVEL	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	ESCALAS	CLASSIF. FISIOGRAFICA	ITC- CLASSIF. DE TERRENOS	OXFORD MCXC	CSIRO DIV. (GRANT) GEOMECH	CSIRO LAND RESEARCH AND REJ. SURV (CHRISTIAN)	DOS	SISTEMA LORITIC	FAO FRAMEWORKS (M.F. DURNELL, 1984)	ROSS J. (1990)
1	Altamente generalizado. A gênese e a litologia são mais importantes. Mostra uma pequena variação da forma a superfície e das propriedades expressivas de uma unidade litológica próxima de uma evolução geonórfica comparável.	<=  < 1:250.000	Província fisiográfica	Província do terreno	Região do terreno e sistema de terreno	Província do terreno	Província do terreno (sistema de complexo do terreno)	Região do terreno /provincia (como parte do sistema do terreno)	Paisagem (mesit-noste)	Províncias extensas (países)	Unidades  Morfo-estruturais  Unidades  Morfo-culturais  Superfícies  Geneticamente homogêneas
2	Moderadamente generalizado. Relevo: litologia e gênese são os principais critérios para a classificação. Mostra um padrão dominante de componentes de terreno geneticamente relacionados	>=  > 1:250.000	Unidade Fisiográfica principal	Sistema do terreno (padrão)	Sistema de terreno	Padrão do terreno	Sistema do terreno	Sistema de terreno	Mesitnost (e urochis-cha)	(Estados e bacias hidrográficas)	Modelado  Padrão de formas de relevo
3	Nenhuma ou poucas generalizações em classes de área. Os detalhes podem ser generalizados. O Relevo, litologia e gênese são principais critérios da classificação. Razoavelmente homogêneo e distinto do terreno circunvizinho.	>=  > 1:50.000	Unidade Fisiográfica detalhada	Unidade do terreno	Faceta de terreno	Unidade de terreno	Unidade do terreno (local)	Faceta do terreno	Urochis-cha	(Municípios, área rural, sub-bacias)	Tipos de formas de relevo
4	Nenhuma generalização em classes de área. Nenhuma ou pouca generalização em detalhes. Relevo é o critério mais importante. Basicamente uniforme na litologia da forma de terreno, solo, vegetação e proces-so.	>=  > 1:10.000	Elemento Fisiográfico	Componente do terreno	Elemento de terreno	Componente do terreno	Componente de terreno (local)	---	Facies	(Municípios)	Formas linha-res e pontuais do relevo

Ross (1997) define as ordens de grandeza como níveis taxonômicos, distribuídos e classificados como:

- 1º Táxon (unidades morfoestruturais);
- 2º Táxon (unidades morfoesculturais);
- 3º Táxon (modelado);
- 4º Táxon (conjuntos de formas semelhantes);
- 5º Táxon (Dimensão de formas) e
- 6º Táxon (formas lineares do relevo).

A partir dessa fundamentação metodológica, mas adaptando aos objetivos e escala do trabalho, foi possível definir o nível de abordagem tratado neste mapeamento, considerando os seus objetivos propostos, com o estabelecimento de quatro classes taxonômicas hierarquizadas a partir de suas escalas espaciais de análise e aqui definidas como ordem de grandeza.

Alguns pressupostos são fundamentais num sistema de classificação de terrenos, aplicadas à cartografia geotécnica, como:

- i. o método deve ser passível de aplicação geral, o que impõem restrições a critérios rígidos de classificação ou taxonomia grande e profunda;
- ii. as unidades deverão ser reconhecidas e delineadas primeiro em fotografias aéreas, de acordo com as compartimentação natural do terreno. Para a garantia de que o método não ofereça problemas de aplicação, por representar unidades essenciais de comportamento previsto semelhante frente aos fenômenos e processos que nelas se desenvolvam;
- iii. as regras de classificação não devem interferir na criação e na edição de tabelas no banco de dados selecionado. Isto implica em que o sistema de classificação deva estar o mais adequado possível à escala de representação. Com isto os dados de reconhecimento de campo devem ser aceitos pela mesma estrutura de dados independentemente do detalhamento das áreas amostradas no campo.
- iv. deverão ser utilizados atributos que possam ser facilmente levantados, armazenados e representados.

## 2.3 Obtenção e armazenamento dos dados

Existem três caminhos metodológicos para se chegar às UTs: por células numa malha quadrada; por superposição de mapas temáticos e por unidades de mapeamento de terrenos.

Na malha quadrada os atributos são levantados e armazenados a partir de pontos igualmente espaçados no terreno, amarrados a uma malha quadra sobreposta.

A vantagem deste método é sua adequabilidade a utilização por processamento em computador, onde métodos estatísticos podem ser aplicados com técnicas padrão.

As desvantagens se referem a ser um método trabalhoso na entrada de dados, as dimensões da malha são arbitrarias, as relações espaciais entre litologia, geomorfologia e solos se torna confusa e as operações dos dados também. Não apresentando realmente as variações de atributos por unidade e no caso de grandes unidades homogêneas há um desperdício de trabalho.

Por sobreposição e cruzamento de mapas temáticos existentes tem-se uma maior velocidade na obtenção dos atributos para o banco de dados. Porém, os mapas temáticos apresentam dados pré-classificados. Enquanto que mapas geológicos mostram unidades classificadas segundo a idade dos materiais, mapas pedológicos trazem classificações de uso não corrente no meio de geologia de engenharia. E os contatos são discutíveis quanto aos critérios utilizados. Por outro lado, alguns mapas geomorfológicos apresentam simbologia complexa que não pode ser traduzida em atributos codificáveis. Os mapas topográficos, por sua vez, são demasiadamente generalizados não evidenciando o micro relevo e a drenagem. Além disto, várias revisões devem ser realizadas para o ajuste dos contatos, já que se deve estar coerente com o sistema de classificação hierárquico, ou seja, um conjunto de Unidades de Terreno deve corresponder a determinado Sistema, e por sua vez um conjunto de Sistemas deve corresponder a certa Província.

A abordagem por Unidades de Terreno consiste num método de obtenção e armazenamento de dados que se utiliza das inter-relações entre geologia, geomorfologia e solos, os quais podem ser interpretados em fotografias aéreas.

Para auxiliar na interpretação podem ser utilizados mapas específicos, e amostragem de campo por perfis típicos de alteração de solos das Unidades de Terreno.

Diversos atributos por Unidade de Terreno são descritos em ficha de campo, para futuro armazenamento em banco e dados.

As unidades de Terreno (UT), predominantemente formas de relevo (geoformas), são diferenciadas de tal maneira que cada unidade forma uma associação única de litologia, solo e relevo e declividade. Evidentemente, as Unidades devem ser obtidas de um recurso básico que contenha todas estas informações, como fotografias aéreas e observações de campo.

O método de sobreposição de mapas temáticos se aproxima bastante, em termos de resultados, do método de Unidades de Terreno, porém é menos otimizado em termos de recursos e tempo.

## 2.4 Unidades de mapeamento de terreno propostas

Uma Unidade de Mapeamento de Terreno, ou como proposto neste trabalho: Unidade de Terreno (UT) consiste num conjunto de características dos seguintes componentes do meio físico:

- geoforma (escalas de 1:10.000 a 1:25.000): feições geomorfológicas, de processos erosivos e deposicionais, sistema de formas de relevo (1:50.000);
- solos ou material inconsolidado: perfil típico de solo tropical, processo de intemperismo, textura, origem, rocha original e espessura;
- litologia-estrutura: tipo geotécnico;
- geomorfometria: declividade, amplitude de relevo, curvatura, geoforma, padrão de geoforma, padrão de drenagem, densidade de drenagem.

O uso de termo terreno pareceu conveniente por ser neutro e necessário para minimizar a confusão entre conceitos já utilizados como: unidade de relevo, utilizado por Brink et al (1966 apud MEIJERINK, 1988) em avaliação de terrenos.

O termo unidades geomorfológicas não seria adequado, pois a sub-compartimentação pode se basear na distribuição do material inconsolidado.

Os termos unidade fisiográfica ou unidade de paisagem são utilizados no sentido de gênese e evolução de formas de relevo, para descrição de terreno que incluem a vegetação e o uso do solo, e são mais aplicados em cartas geoambientais.

O termo unidade homogênea é genérico e pouco preciso, quanto ao caráter do que seja homogêneo: atributos; gênese; processo; comportamento. Portanto, é um termo já utilizado e que

pode causar confusão, no sentido que se procurou dar neste trabalho.

O termo terreno tem também suas associações com descrições paramétricas, relativamente à parcelamentos, vias, acessibilidade e geologia de engenharia, mas talvez seja no presente o mais neutro deles, segundo Meijerink (1988), e também por isto proposto neste trabalho.

Sistematicamente, uma Unidade de Terreno descreve uma divisão natural do terreno, que corresponde a uma geoforma (*landform*), que representa um conjunto de atributos relacionados pelos mesmos processos genéticos e, portanto, permitem prever seu comportamento geotécnico potencial enquanto meio físico.

## 3 EXEMPLO METODOLOGIA ADOTADA NO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DA FOLHA DE AGUAÍ

### 3.1 Metodologia adotada na cartografia geotécnica de folha de Aguaí

A cartografia Geotécnica da Folha de Aguaí (escala 1:50.000) foi realizada, entre 1989 e 1992, no contexto do projeto desenvolvido pelo Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, intitulado "Investigação Geotécnica Regional no Centro-Leste no Estado de São Paulo". A área deste projeto de mapeamento geotécnico abrange a Folha topográfica de Campinas, do IBGE na escala 1:250.000, proposto e coordenado pelo professor Nilson Gandolfi, DSc.

Um dos objetivos do trabalho desenvolvido nesse departamento é a avaliação e aplicação da metodologia proposta por Zuquette (1987), sendo que a partir do trabalho de Diniz-Souza (1992), diversos trabalhos, como Lollo (2005), adotaram o Sistema de Terrenos, utilizado por diversos autores no Chorley (1971), Verstapen ITC (MEIJERINK, 1988), no CSIRO (GRANT, 1965; GRANT & FINLAYSON, 1978), e posteriormente no INPE, por Juércio Mattos, por Cecarelli (1993) e Vedovello (1993).

Dada a diversidade da compartimentação dada pelos condicionantes da geologia, do relevo e dos solos, bastante inter-relacionados implicando numa íntima associação; material inconsolidado x

geoforma, na área da Folha de Aguaí, como desenvolvido no item 4.3, considerou-se apropriada à utilização de alguns critérios de análise de terrenos propostos na metodologia PUCE (GRANT & FINLAYSON, 1978) e de classificação de Unidades de Terreno, segundo Meijerink (1988). O quadro de referência teórico para o mapeamento geotécnico da Folha de Aguaí encontra-se na Figura 3. A partir da elaboração deste quadro de referência é que se pode estruturar a estratégia metodológica.

O meio físico, sendo o objeto de investigação foi considerado como condicionante, no sentido de inspirar a ocupação, do meio socioeconômico. A partir da projeção de estimativas de ocupação e desenvolvimento criam-se demandas para ocupação, uso e recuperação do meio físico pela socioeconômica. Neste contexto, o mapeamento geotécnico se coloca como um instrumento para orientação dessa demanda. As necessidades do usuário deverão especificar a finalidade e conseqüentemente a escala do trabalho. Para os fins específicos deverão ser determinadas certas propriedades geotécnicas e para defini-las deverão ser levantados no campo os atributos do meio físico correspondentes necessários. A programação dos trabalhos de elaboração das cartas deverá ser realizada neste sentido, enquanto que a produção, e em seguida a utilização dos documentos do mapeamento geotécnico, o serão em sentido contrário.

O quadro de referência teórico se constitui em um dos fundamentos para elaboração da estratégia metodológica. Considerou-se, contudo, dentro da estrutura de inventário, análise e síntese, os seguintes fundamentos:

a) Os temas de avaliação, determinados a partir das demandas da área estudada, após a análise socioeconômica quais sejam, riscos geológicos (erosão, assoreamento, inundação e movimento de massas), viabilidade de ocupação por engenharia (loteamentos residenciais e industriais, estradas, barragens rurais e disposição de resíduos) e recursos naturais (hídricos superficiais e subterrâneos, e materiais de construção civil). A partir das finalidades de avaliação e definição dos atributos a serem levantados elaborou-se a ficha de levantamento geológico-geotécnico de campo (ZUQUETTE, 1987; ZUQUETTE & GANDOLFI, 1990);

- b) A geomorfologia como critério essencial, mais especificamente no que se refere à geoformas (*landforms*), estabelecidas a partir da análise de feições de relevo e de processo genéticos das geoformas para a definição de Unidades de Terreno (MEIJERINK, 1988). Um exemplo de obtenção de dados ambientais com base em informações geomorfológicas encontra-se na Figura 4;
- c) A formulação de um modelo de compartimentação da área através de um sistema hierárquico de classificação de terrenos, sendo a análise compatível com a escala de trabalho (PUCE-GRANT & FINLAYSON, 1978);
- d) A utilização de perfis típicos de alteração de materiais inconsolidados, relativos a solos residuais tropicais, como critério de caracterização dos sistemas e unidades de terreno (DINIZ-SOUZA & ZUQUETTE, 1991). Dada a diversidade litológica e geomorfológica da área, foram determinados perfis típicos de alteração para os oito Sistemas de Terreno e dezessete Unidades de Terreno estabelecidas, dos quais cada nível de alteração, segundo a classificação adotada para os materiais inconsolidados, foi amostrado e ensaiado;
- e) Toda a elaboração do trabalho teve o objetivo de preparar os dados produzidos para um sistema informatizado de banco de dados e cartografia automatizada. Desde a escolha do sistema hierárquico de classificação de terrenos até a elaboração da ficha codificada de campo, da legenda preliminar para os mapas, seções e perfis, a classificação de materiais inconsolidados adotada, e as fichas de classificação e avaliação. Consideram-se de fundamental importância a facilidade e agilidade na representação, recuperação e atualização dos dados nos documentos de mapeamento geotécnico produzidos.

### 3.2 Estratégia Metodológica

A aplicação dos diversos trabalhos desenvolvidos, no Departamento de Geotecnia da EESC/USP, permitiu algumas reavaliações, principalmente quanto ao número mínimo de amostragem, e quanto aos tipos e quantidades de ensaios a serem realizados. De onde se partiu para

a amostragem por níveis de alteração nos perfis típicos das Unidades de Terreno, reduzindo o número de ensaios programados.

Dado o caráter regional da escala do trabalho de Mapeamento, os perfis típicos de alteração podem ser considerados representativos das Unidades de Terreno para o material inconsolidado, para os tipos litológicos e para as feições de relevo local, que compõem os sistemas de relevo regional.

O critério fundamental para a compartimentação do meio físico foi a geomorfologia. De onde foram estabelecidas Unidades de Terreno, para escala 1:50.000, que apresentam homogeneidade quanto às formas de relevo, ao material inconsolidado, e à lito-estrutura.

A caracterização dessas unidades se deu por perfis típicos de alteração, quanto ao grau de evolução genética de cada nível e suas respectivas texturas e espessuras.

Como base para o trabalho de campo, foi utilizado mapa preliminar de unidades de terreno, elaboração pela compilação de mapas geológicos e pedológicos existentes, e pelas fotointerpretações na escala 1:60.000 (USAF, 1965) para materiais inconsolidados, e na escala 1:25.000 (IBC-GERCA, 1972) para feições geomorfológicas.

Os atributos observados no campo encontram-se em ficha de campo, onde foram considerados aspectos de localização, ocupação e uso atuais; geomorfológicos; litológicos, mineralógicos, texturais; origem e grau de alteração; espessuras: compacidade e/ou consistência; erosão, pedregosidade e rochiosidade; permeabilidade e nível d'água, dentre outros. Ao se elaborar a ficha para levantamentos geológico-geotécnicos, objetivou-se obter o maior volume de informações dos mais diversos atributos, de uma maneira uniforme para toda a área, otimizando o tempo do trabalho de campo. A ficha permite codificação e utilização de banco de dados. Porém, apenas o seu uso em arquivo de fichas, já permite um rápido manuseio para consulta nas fases de revisão dos mapas, elaboração dos perfis, seleção dos pontos de amostragem, etc.

### 3.3 Etapas de trabalho

A estratégia metodológica utilizada para a Folha de Aguai, em etapas, foi a que se segue.

**3.3.1 Levantamento e análise das informações existentes** (bibliografias, cartas, mapas, perfis, sondagens, poços, etc). Nesta etapa percorreram-se os seguintes órgãos: CESP, CETESB, CPRM, EPUSP, DAEE, IAC, IG, IGC, IGUSP, IGeog.-USP, IGC-UNESP, IPT, IBGE, DER. Nestes órgãos foi possível obter mapas topográficos, geológicos, pedológicos, geomorfológicos, geofísico, além de fotografias aéreas (1:25.000, IBC-GERCA, 1972), e dados de sondagens a percussão (DER), dados de sondagens a trado (IG) e dados de poços (DAEE). Anexo 8; sondagens do tipo borro (CESP), dados de análises químicas de solos (IAC).

**3.3.2. Reconhecimento dos atributos.** Nesta etapa fundamental ao trabalho, se distinguem duas fases. Numa primeira realizou-se a análise da demanda socioeconômica segundo o fluxograma da Figura 3, que mostra o quadro de referência teórico do trabalho. Estabelecidas as necessidades dos usuários na região, determinaram-se as propriedades geotécnicas que seriam necessariamente caracterizadas, e, em função delas, os atributos do meio físico a serem levantados. Para este trabalho utilizaram-se os critérios adotados por Zuquette (1987) na elaboração das diversas cartas interpretativas e nas tabelas de atributos de Zuquette & Gandolfi (1990), além dos critérios de avaliação do sistema PUCE.

Após a escolha dos atributos a serem considerados, elaborou-se a ficha de levantamento geológico-geotécnico de campo, conforme já exposto. Para confecção da ficha utilizaram-se Zuquette (1987), Lepsh (1985) e IPT (1994).

Elaborou-se, ainda nesta primeira fase um sistema de legendas e convenções, em primeira tentativa, para todos os documentos a serem produzidos nas diversas etapas do trabalho, como mapas, tabelas de classificação e de avaliação, seções e perfis.

Para isto utilizaram-se Geological Society (1972, 1982), IAEG (1976, 1981a, 1981b, 1981c), Ter-Stepanian (1974), Varnes (1974), Matula (1981), Zuquette (1987), PUCE (GRANT & FINLAYSON, 1978) e Cook & Doornkamp (1990).

Foi confeccionada ficha para classificação e avaliação de terrenos para os níveis de Província, Sistema e Unidade (Tabelas 11 a 18) com base em Grant & Finlayson (1978). Esta foi utilizada na

análise das formas de relevo para a determinação das Unidades de Terreno, preliminarmente a partir da folha topográfica e da fotointerpretação. Na sequência do trabalho concomitantemente a elaboração dos outros mapas produzidos também utilizou-se uma ficha de códigos de atributos.

Foram elaboradas tabelas de critérios de avaliação para os diversos temas abordados no trabalho, Tabelas 5 a 10. Os atributos considerados, para cada tema específico, basearam-se em segundo Zuquette (1987), Zuquette & Gandolfi (1990), DAEE/IPT (1990), Coelho (1980), Bueno & Vilar (1984), Augusto F° et al (1990), Souza - Diniz & Zuquette (1992), dentre outros manuais e especificações técnicas setoriais. Procurou-se quantificar ao máximo os critérios de avaliação, porém nem todos são passíveis de análise por valores numéricos. Muitos dependem de fatores subjetivos, relativos, por exemplo, a um evento climático, no caso de movimentos de massa. Outros dizem respeito às características particulares da região estudada, como os recursos naturais. Ou ainda critérios específicos de determinados tipo de obra, condicionados pelo meio físico local de implantação. Porém a tentativa de quantificação para avaliação se justifica pela necessidade de índices numéricos no tratamento informatizado dos dados. As análises subjetivas poderão ser interativas e a partir de pesos estabelecidos em simulações da avaliação.

Numa segunda fase, partiu-se para o reconhecimento dos atributos propriamente ditos, inicialmente com os trabalhos de fotointerpretação distintos para geologia do substrato, materiais inconsolidados, formas e feições de relevo.

**3.3.3 Elaboração de um mapa preliminar de Unidades de Terreno.** Considerou-se como critério fundamental as formas de relevo. Foram considerados ainda na elaboração do mapa preliminar de UT as relações solo-relevo, o material inconsolidado e o substrato rochoso; utilizando-se para isto a compilação dos mapas existentes e os mapas produzidos pela fotointerpretação. Tabela 1.

**3.3.4 Trabalhos de campo preliminares para o reconhecimento geral da área de mapeamento,** visando à checagem dos mapas de UT preliminares e caracterização das grandes unidades e seus limites.

Esta primeira fase de campo cobriu toda a área em quatro etapas com a descrição sistemática, com um número mínimo de observações qualitativas e quantitativas, através de descrição por ficha de campo.

**3.3.5 Elaboração de seções longitudinais, pelas principais UT's e confecção dos perfis típicos de alteração.** As seções foram elaboradas para melhor análise dos compartimentos de Unidades de Terreno, que orientaram a determinação dos tipos de perfis típicos de alteração. A partir dos dados de campo, do mapa da Unidade de Terreno revisado e de dados de sondagens, poços profundos e sondagens borro, elaboraram-se os perfis típicos para cada unidade a partir das quatro seções longitudinais pela área.

Para determinação dos diversos perfis típicos foram considerados nove tipos rochosos existentes, e estabelecidas sessenta e quatro unidade de materiais inconsolidados em função dos níveis de alteração de cada perfil.

**3.3.5 Segunda etapa de fotointerpretação,** com a delimitação mais precisa das unidades chegadas no campo, com indicações de pontos para amostragem.

**3.3.6 Segunda etapa de trabalhos de campo,** quando foram realizadas coletas de amostras representativas das unidades, por perfil, em cada nível de alteração.

A amostragem consistiu na retirada de amostra deformada de 20kg e amostra semi-indeformada de anel (ABNT, NBR 9813/87).

Para auxiliar na estimativa das espessuras do material inconsolidado, ou seja, dos perfis de alteração, foram tomadas medidas de nível d'água (N.A.) com medido elétrico em poços do tipo cimbais por toda a região.

As amostras retiradas foram ensaiadas. O objetivo dos ensaios foi fornecer subsídios para confirmar a individualização dos perfis, quanto às propriedades geotécnicas distintas em superfície e em profundidade. Este tipo de amostragem permitiu a generalização dos atributos na área da Unidade de Terreno, caracterizada pelo perfil típico. Possibilitou ainda, estimativa de

comportamento através dos atributos que atenderam aos critérios de avaliação.

Elaboração final dos mapas básicos e auxiliares:

- i. formas e feições de relevo;
- ii. substrato rochoso;
- iii. geologia dos materiais inconsolidados;
- iv. águas superficiais e subterrâneas;
- v. carta de declividade;
- vi. documentação existente e produzida;
- vii. mapa pedológico 1:50.000 (IAC, inédito).

Realização dos ensaios de laboratório, em mecânica dos solos. Os procedimentos na realização dos ensaios seguiram as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Manual de Ensaio de Laboratórios em Solos de Head (1981). Para materiais inconsolidados:

- i. caracterização tátil-visual (NBR-6457/86, NBR-7250/82, STANCATI et al, 1981);
- ii. granulometria conjunta (NBR-5734/80, NBR-7181/84);
- iii. massa específica dos sólidos (NBR-6457/86);
- iv. massa específica seca de campo e umidade natural (NBR-9813/87);
- v. limites de liquidez e plasticidade (NBR-6459/84, NBR-7180/84);
- vi. compactação por proctor normal (NBR-7182/86);
- vii. comportamento laterítico. Mini-MCV e perda por imersão (NOGAMI & VILLIBOR, 1981).

**3.3.6 Definição ou estimativa das propriedades dos materiais inconsolidados e das rochas pertencentes às UT's (Unidade de Terreno),** e caracterizadas qualitativamente e quantitativamente, no campo e nos ensaios, respectivamente.

**3.3.7 Produção da carta de Unidades de Terreno e Avaliação dos Terrenos,** de acordo com as necessidades dos usuários, segundo as respectivas tabelas de classificação e avaliação, nas Tabelas 11 a 18, no que se refere a:

- i. riscos geológicos, englobando problemas de erosão, assoreamento, inundação e movimentos de massas;
- ii. viabilidade para implantação de ocupação por obras de engenharia: loteamentos residenciais, distritos industriais, disposição de resíduos, estradas e barragens rurais;

- iii. recursos naturais: recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), materiais de construção (areia, cantaria, brita, cerâmica vermelha e cerâmica comum);
- iv. Carta de Unidade de Terreno;
- v. Carta de Recursos Hídricos.

### 3.4 Considerações Finais

O critério de amostragem por perfis de alteração representativos das Unidades de Terreno melhora a caracterização qualitativa e reforça a validade dos dados quantitativos a serem obtidos.

Considera-se de maior validade a amostragem por níveis de alteração nos perfis do que a simples amostragem pontual e indiscriminadamente distribuída pela área, pois a amostra assim obtida permite uma caracterização mais representativa do local, exigindo um menor volume de material e possuindo maior validade em relação à Unidade de Terreno que representa.

Os perfis caracterizam mãos coerentemente e de forma mais completa as Unidades de Terreno. O mapeamento de superfície que considera somente os primeiros metros de profundidade não caracteriza por completo as Unidades de Terreno, por não considerar o aspecto evolutivo do perfil de alteração do solo. Além de não suprir as necessidades de parâmetros para as obras civis, que geralmente desprezam os dois primeiros metros para fins seja de fundações ou como material de empréstimo. A aplicação desses materiais pode ser em estradas, barragens, loteamentos, distritos industriais, disposição de resíduos, obras de saneamento, ou mesmo, para definição de áreas de riscos: escorregamentos, erosão, assoreamento, inundação.

A consideração de perfis típicos por Unidades de Terreno permite grande economia de recursos e tempo na execução do trabalho de campo, na interpretação dos resultados e na realização de ensaios, devido à redução no volume de amostras.

A execução de ensaios garante o fornecimento de atributos quantitativos, importantes como subsídio na avaliação geotécnica a ser realizada. Como no caso de algumas propriedades geotécnicas, tais como, compressibilidade, colapsividade e expansibilidade, condicionantes de alguns processos analisados. Realizados de forma otimizada

por perfil de solo tropical, para os níveis lateríticos e saprolíticos dos solos.

A avaliação por critérios quantitativos, ou subjetivos com a ponderação por pesos, permite a análise de diversos problemas de forma integrada e simultânea sobre uma mesma base de meio físico, compartimentado em Unidades de Terreno. Por outro lado, garante a uniformidade dos critérios adotadas por diferentes técnicos, especializados ou não, que trabalhem em projeto de grande porte ou com diversa distribuição regional.

## PARTE II

### 4 SISTEMAS DE ANÁLISE DE TERRENO

#### 4.1 Sistemas de Análise de Terreno

Diversos autores trataram da análise de terrenos, com fins de planejamento, uso e ocupação da terra, especialmente nas décadas de sessenta e setenta. Beckett & Webster (1965), Keifer (1967), Brink et al (1968), Aitchison & Grant (1968), Stewart (1968), Woloshin (1968), Chorley (1971), Mitchell (1973), Seggett (1973), Watt (1973), Brunnsden (1975), Libault (1975), Verstappen & Zuidan (1975), Grant (1975a e b), Walmsley (1975), Coates (1976), Hansen (1976), Koons (1976), Legget (1976), Small (1978), Neil & Scalles (1978), Olsen (1976), Oliver (1977), Grant & Finlayson (1978), Ponçano (1979), Doornkamp et al (1979), Beaumont (1979), Rodrigues Ortiz et al (1979), Kreig & Reger (1980), Klimaszewski (1982), Grant et al (1982), Purnell (1984), Zuidan (1985), Fookes & Vaughan (1986), King (1986), Salamon (1986), Rupke (1988), Cook & Doornkamp (1990), Ross (1992).

No trabalho de Verstappen (1983), são apresentadas diversas aplicações dos sistemas de análise de terrenos e suas correlações, que podem ser observadas na Tabela 3.

Meijerink (1988) apresenta a metodologia de análise de terrenos utilizada no ITC, Holanda, no Sistema de Informação Geográfica ILWIS, que por estar bem descrita e explicitada enquanto etapas metodológicas, técnicas, atributos e análises é um trabalho muito referenciado na geologia

e na geomorfologia de engenharia. Esse trabalho influenciou os desenvolvimentos metodológicos de Souza-Diniz (1992), Ross (1992) no Departamento de Geografia da FFLCH da USP, Zuquette (1993), Lollo (1996), da EESC-USP e Vedovello (1993), Cecarelli (1994), com Juércio Mattos, e Crepani et al. (1996), no INPE, Diniz (1998), Freitas (2000), IPT (1996a), IPT (1997f), IPT (1999), no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, além de outros.

Na compartimentação geomorfológica existe uma estrita correlação entre o material inconsolidado e a geoforma, por isso diversos trabalhos na cartografia geotécnica nacional, utilizaram princípios e orientações metodológicas do sistema PUCE (GRANT, 1965; GRANT & FINLAYSON, 1978) para análise de terreno, como em Souza-Diniz (1992), aplicado a Folha de Aguaí e apresentado, como exemplo, neste artigo.. Outro fator importante é a forma proposta pela PUCE de obtenção, representação e recuperação dos atributos. Segundo este sistema, o mapeamento da Folha de Aguaí se enquadraria, dada sua escala de 1:50.000, como Unidades de Terreno, devendo-se definir para isto, os Padrões (ou Sistemas) de Terreno e as Províncias, por serem as unidades precedentes, Tabelas 4 e 5.

#### 4.2 A Metodologia PUCE (Padrão, Unidade, Componente, Avaliação)

A base do sistema PUCE é que qualquer porção do terreno pode ser definida unicamente com base em seu relevo, ou seja, características das vertentes (princípios geomorfológicos), litologia, estrutura e tectônica do substrato, e características do solo e vegetação. Através da definição de intervalos de características desses terrenos, com níveis significativos e adequados, podem ser determinadas classes de terreno naturais válidas (GRANT, 1875a e b; GRANT et al, 1982). As propriedades em cada elemento devem ser homogêneas em toda a sua extensão.

O sistema considera quatro intervalos de generalização: Componente do terreno, Unidade do Terreno, Padrão de Terreno e Província. Para estabelecer esses níveis, é necessário definir o limite de variação adequado para cada nível correspondente a cada característica de terreno. Os elementos de cada nível devem ser homogêneos para este nível. Tabela 3.

Tabela 3 – Definição da Classificação de Terrenos

DEFINIÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE TERRENO						
ESTÁGIO INICIAL DA CLASSIFICAÇÃO DE TERRENO			ESTÁGIO FINAL DA CLASSIFICAÇÃO DE TERRENO			
FONTES DE INFORMAÇÃO INDIRETA	FATOR RELEVANTE NA CLASSIFICAÇÃO	TÍTULO	FONTES SUPLEMENTARES DE INFORM.	FATOR RELEVANTE NA CLASSIFICAÇÃO	TÍTULO	MODO DE EXPRESSÃO
Mapas geológicos (ou outras fontes derivadas de sensoriamento remoto) na escala da ordem de 1:10 <sup>6</sup>	Áreas de geologia constante a nível de grupo, etc	---	Estudos geológicos	Áreas de geologia constante a nível de grupo	PROVÍNCIA	Mapa 1:250.000 ou escala maior das associações de PADRÕES DE TERRENO
Fotografias aéreas (ou outras imagens derivadas de sensoriamento remoto) na escala da ordem de 1:10 <sup>5</sup>	Áreas de padrão de foto aérea similar, amplitude de relevo local constante e padrão e densidade de drenagem constantes como definido pelo fotointerpretação	Padrão aéreo fotográfico	Estudo da terra da fisiografia a das associações de unidades de terreno	Áreas de amplitude de relevo local constante e padrão e densidade de drenagem constantes. Áreas de padrão aerofotográfico constante. Áreas com mesma assoc. de unid. de terreno	PADRÃO DO TERRENO	Mapa 1:250.000 ou escala maior (e bloco diagrama) da paisagem e das associações de UNIDADES DE TERRENO
Estudos fotogramétricos de fotografias aéreas	Forma de relevo típica	Unidades de forma de relevo	Estudo da terra para reconhecimento e avaliação quantitativa das dimensões das formas de relevo (onde não obtido por estudo das fotografias aéreas). Estudo da terra das associações de materiais do terreno e de cobertura vegetal. Estudos das associações de terreno	Áreas ocupadas por formas de relevo típicas com associações de materiais do terreno e formações vegetais características. Áreas com mesma associação de componentes de terreno	UNIDADE DE TERRENO	Mapas 1:250.000 ou escala maior das formas de relevo, associações de materiais e formações vegetais, parâmetros, porcentagens de Padrões de terreno, e associações de componentes de terreno
Estudos fotogramétricos de fotografias aéreas na escala da ordem de 1:10 <sup>5</sup> mapas com intervalos de adequabilidade	Tipos de vertentes típicos	Componente de forma de relevo	Estudos da terra para reconhecimento de vertentes, solos, cobertura da superfície e associação vegetal específicos	Áreas com tipos de mudanças de declives constantes. Classificação do solo pela U.S.C. e subdivisão dos perfis primários ao nível de forma.	COMPONENTES DE TERRENO	Mapa 1:250.000 ou escala maior das combinações de vertentes, associações vegetal, e de solo característicos, e da dominância relativa em relação a Unidade de Terreno e aos parâmetros de terreno

Fonte: (Grant & Finlayson, 1978 in SOUZA - DINIZ, 1992).

**Tabela 4** – Sistema de Análise de Terrenos com Proposta de Aplicação para a Folha de Aguaí. Fonte: SOUZA – DINIZ, 1992).

CLASSES DE TERENO	ESCALA	P U C E		PROPOSTA / AGUAÍ	
		CRITÉRIOS	DIFICULDADES	CRITÉRIOS	APLICAÇÃO
Província	1:2500.000	Idade Tipo Rochoso	Grande número de unidades por idade de rocha em áreas restritas	Província geomorfológica	Depressão Periférica e Planalto Atlântico
Padrão	1:250.000 a 1:100.000		Paisagem Amplitude de relevo Padrão de Densidade de Drenagem	Estudo de canais por km	111 212,214,234 312 243,244,245
Unidade	1:50.000 a 1:25.000	Formas de relevo Associação de solos e vegetação	Necessidade de vegetação natural Definição das associações de solos	Forma de relevo perfil de alteração, material, inconsolididade, declividade, geologia	I a XVII
Componente	1:10.000 a 1:2.500	Tipo de Vertente Litologia Solo Vegetação	----	----	----

**Tabela 5** – Critérios de avaliação: suscetibilidade a movimentos de massa.

AVALIAÇÃO					
SUSCETIBILIDADE/RISCOS					
PROBLEMA	ATRIBUTO	CLASSES			
		ESTÁVEIS	POTENC. INSTÁVEL	PRÉ-INSTÁVEL	
MOVIMENTO DE MASSAS	FUNDAMENTAIS PONDERÁVEIS	<10%	10 - 20%	>20%	SUSCETIBILIDADE
	DECLIVIDADE				
ESCOAMENTOS	FORMA DA ENCOSTA	convexa/retilínea	concava/concava	concava/retilínea	POTENCIALIDADE
1 RASTEJOS	COBERTURA VEGETAL	grande porte/espessa	médio porte/esparsa	pequeno porte/esparsa	DE OCORRER
2 CORRIDAS					
ESCORREGAMENTOS	FUNDAMENTAIS VARIÁVEIS	---	---	---	O PERIGO
	DIREÇÃO DE CHUVAS	não	sim	sim/concentrada	HAZARD
	SAZONALIDADE DE CHUVAS				
3 ROTACIONAIS	INTENSIDADE DE CHUVAS	---	---	---	
4 TRANSLACIONAIS	INSOLAÇÃO				
5 QUEDAS DE BLO-COS OU DETRITOS	FUNDAMENTAIS CONDICIONANTES DO TIPO DE EVENTO (12345)				ANÁLISE
	TIPO DE MATERIAL				DE
	ESPESSURA DO MAT. INCONSOLIDADO				HAZARD
	PROF. DO N.A.				DE
	PERMEABILIDADE				FENÔMENOS
EXPANSIBILIDADE	QUE				
COMPRESSIBILIDADE					
DECONTINUIDADES					
	SEUNDÁRIOS				EFETIVAMENTE
	GRAU DE ALTERAÇÃO				
	NAUREZA E PERFIL DA UNIDADE				OCORREM

Fonte: SOUZA - DINIZ, 1992.

O sistema para a classificação de terreno proposto (GRANT & FINLAYSON, 1978) é hierárquico, no sentido de que cada elemento de um nível é composto por uma associação limitada e constante de elementos do nível precedente.

Um sistema de nomenclatura numérica para os níveis de terreno foi proposto de forma que a informação coletada fosse compatível com um processamento por computador.

A classificação do terreno é obtida através de fotointerpretação e de trabalho de campo.

Usando esse sistema, a análise qualitativa e a avaliação quantitativa dos recursos geotécnicos podem ser conduzidas em três estágios:

1. Estudos de viabilidade;
2. Planejamento, e
3. Construção.

Estes estágios devem conter a informação obtida para cada etapa, de acordo com o nível adequado à classificação do terreno. Trabalhos de planejamento ou de implantação de obras possuem diferentes necessidades, portanto a informação a ser coletada para cada etapa de cada projeto deve ser especificada antes dos trabalhos de levantamento de dados. Usando um sistema de processamento de dados, a coleta de dados pode ser arquivada para recuperações posteriores.

Para arquivo e recuperação lógica, as informações levantadas devem ser codificadas. O método de processamento das informações mais satisfatórias é por computador, porém, o sistema pode ser adaptado a arquivos de escritório ou fichas de anotações.

## 4.3 Níveis de Terreno

### 4.3.1 Província

A província define uma área do meio físico segundo sua Geologia, a origem do material rochoso (sedimentar, vulcânico, plutônico, metamórfico, aluvionar, coluvionar, eólico). Este nível representa unidades cronoestratigráficas do terreno. Adequado para escala 1:250.000 (facilidades de reconhecimento).

### 4.3.2 Padrão de terreno

O padrão do terreno se baseia em critérios geomorfológicos, tais como amplitude do relevo local, modelo de drenagem, sua densidade. Normalmente, apresenta consistência e uniformidade no padrão de forma de relevo.

Existem unidades, determinadas topografia, associação dos solos e vegetação possíveis de se distinguir em fotos aéreas quando em escala adequada. Representa níveis de amplitude de relevo e densidade de drenagem. É adequado para escalas menores que 1:100.000.

### 4.3.3 Unidade de terreno

A unidade é determinada por análise através da forma do terreno, da associação dos solos e da vegetação.

É caracterizada por ter uma única forma do terreno e uma associação de solos e vegetação.

As formas do terreno são classificadas tendo como base uma associação de encostas de amplitude do relevo local. É adequado para escalas menores que 1:10.000.

### 4.3.4 Componentes do terreno

Os componentes têm como base as características geomorfológicas, como tipo e inclinação das encostas, tipo de perfil do solo, uso ou cobertura da terra, vegetação e litologias do substrato rochoso. São adequados para escalas maiores que 1:10.000.

Os taludes são analisados sob o aspecto tridimensional, podendo ser considerados convexos e planares. Litologias (rochas) são descritas e analisadas sucintamente, porém de maneira a fornecer características importantes. Os solos devem ser analisados em virtude das suas variáveis, tanto no sentido horizontal quanto no vertical, e classificados segundo uma classificação normalizada e utilizada na região em questão.

A vegetação presente na área deve ser analisada quanto à espécie, densidade, gênero, e outras variáveis possíveis. Este nível pode ainda ser definido através de:

- i. microtopografia (ou seja, característica própria de uma área da paisagem), dentro dos conceitos básicos e dos limites citados;

- ii. uniformidade litológica (rocha) e estrutural;
- iii. solos e suas associações, quando homogêneos dentro dos limites dos níveis;
- iv. associação de vegetação, apresentada de maneira que entre em sua determinação mais de uma espécie ou gênero, para que não haja descontinuidade.

#### 4.4 Vantagens da Metodologia PUCE

Sendo a metodologia PUCE um sistema hierárquico, sua aplicação pode-se dar em qualquer escala dentro da mesma sistemática de classificação do terreno, de forma subordinada e interligada. No caso do mapeamento geotécnico da Folha de Aguai, na escala 1:50.000, o caráter de abordagem do trabalho é regional, classificando-se províncias, sistemas (padrões) e unidades de terreno.

A metodologia PUCE se aplica principalmente a estudos de viabilidade e planejamento, adequado, portanto, á realidade de demanda da região.

O mapeamento pela PUCE se deu na Austrália de forma sistemática, permitindo o recobrimento de todo o país, servindo de base fundamental para frentes de desenvolvimento num território de grandes dimensões e ocupação concentrada no litoral.

O sistema não substitui a investigação local, mas assegura sua execução como base racional.

Considera os atributos naturais críticos do terreno, como solo, rocha, forma de relevo, vegetação, uso e ocupação. Definindo classes naturais, classificando-os de forma semi-quantitativa.

A representação cartográfica é simples, através de índices numéricos de faixas de atributos complementados pelas tabelas de classificação e avaliação dos terrenos, traduz uma grande quantidade de informação, passível de informatização.

A sistemática de nomenclatura de níveis de terreno permite padronização ou institucionalização, essenciais para levantamentos básicos e de manipulação por profissionais de diversas áreas.

O sistema é simples e compatível com um computador digital, e um banco de dados geotécnico, facilitando a obtenção, processamento e manipulação para as diversas aplicações, e a recuperação e atualizações futuras.

A amostragem é otimizada, com predeterminação de sítios, com base nas unidades de geoformas.

Exige menor número de pontos e ensaios. Os dados podem ser extrapolados e as propriedades estimadas.

Faz-se necessária, porém, uma adaptação dos critérios de classificação, como nas Tabelas 5 a 10.

## 5 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO MUNDO E NO BRASIL

### 5.1 Origem e exemplos de cartografia geotécnica internacional

As primeiras cartas geotécnicas foram lançadas em Leipzig, em 1913, por Langen, tratando de fundações em cidades alemãs. No início do século o assunto foi tratado também para áreas urbanas (Nova York, São Paulo) através de uma abordagem de geologia. Após a Segunda Guerra, houve um avanço, na produção de cartas geotécnicas, em diversos países do leste europeu, devido à necessidade de se planejar a reconstrução das cidades. Segundo Zuquette (1985), a fase criativa do mapeamento geotécnico se deu nas décadas de sessenta e setenta; foi neste período que a técnica atingiu os demais países do ocidente.

A compilação de um mapa geotécnico com finalidade geral, na escala 1:25.000, através de Matula e Pasek (1964) foi aprovada pela Comissão de Geotecnia da COMECON, como modelo para instruções internacional.

A França é o país mais desenvolvido em técnicas e trabalhos. Em 1972, Sanejouand publicou a "Cartografia Geotécnica na França", onde se pode observar a forte ligação entre a Escola Francesa e a Checoslovaca. As cartas de fatores são de documentação, do substrato rochoso, dos materiais de cobertura, hidrogeológica, geomorfológica e outras. As cartas de aptidão são: fundações, viabilidade de vias de transporte, escavabilidade, materiais de construção e outros. O objetivo dessa metodologia é ser utilizada tanto para fins regionais como para específicos. O sistema de representação se dá em três dimensões, como o Checoslovaco.

Mathewson & Font (1974), nos EUA, destacam que a geologia de engenharia deve fornecer subsídios para o uso do solo e transmitir para um

público não especialista as informações sobre engenharia, geologia e/ou planejamento, como recomendado por Prandini (1976).

Segundo aqueles autores a inclusão da geologia no planejamento tem sido recebida, algumas vezes, com resistências, devido à complexidade das informações trazidas pela geologia, principalmente quando os dados são provenientes de geólogos especialistas, mas que desconhecem a realidade ambiental ou apresentam a informação de forma inadequada ao uso direto.

Os planejadores precisam receber informação geológica em termos de adequabilidade de uso e não em termos de técnica ou descrição geológica. Ou seja, as informações devem ser apresentadas de forma que os planejadores possam aplicá-las diretamente em suas definições de uso do solo. Os resultados, apresentados em termos de limitações do ambiente físico, podem ser avaliados em termos de ambiente socioeconômico pelos planejadores.

Tal processo de planejamento, segundo estes autores consiste de quatro fases:

- definição de metas e objetivos;
- identificação de áreas com restrições quanto aos limites e potencialidades;
- formulação de recomendações para o plano de ação;
- implementação dos planos de ação formulados para atingir os objetivos.

Para ser dinâmico e efetivo, o processo requer a ativa participação do público, planejadores, técnicos especializados, etc. em cada uma destas fases, principalmente na elaboração do projeto executivo.

Como objetivos, MATHEWSON & FONT (1974) destacam os seguintes:

- mapear e definir áreas onde as condições de solo, rocha e água são impróprias para uma urbanização segura;
- localizar, avaliar e identificar áreas de recursos valiosos;
- localizar, testar e avaliar áreas de solos próprios para sítios seguros e limpos para a disposição de resíduos.

Para estes autores a gestão do uso do solo depende inteiramente da formulação e do estabelecimento de ações adequadas de planejamento. Uma política baseada na geologia precisa objetivar os seguintes aspectos:

- definir o potencial dos recursos existentes;
- preservar a qualidade do meio ambiente dentro das restrições locais;

- maximizar o uso eficaz do solo;
- minimizar os riscos de vida e danos às propriedades, causados por fatores geológicos.

Dearman & Fookes (1974) desenvolveram na Inglaterra trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados a problemas de engenharia civil.

Na Austrália, a partir do trabalho de Grant (1965), iniciou-se o uso de informações geotécnicas, onde se desenvolveu o sistema PUCE (Padrão, Unidade, Componente, Avaliação) (GRANT, 1975<sup>a</sup>; 1975b e GRANT & FINLAYSON, 1978). Essa metodologia, baseada em Sistemas de Terreno ou Relevo, utiliza a análise sintética integrada, e não o cruzamento de mapas. Também se aplica de forma sistêmica ao mapeamento de país de dimensão continental como a Austrália, não obrigando a cartografia sistemática em todos as escalas, parte de mapas em escalas pequenas regionais completos do país e de folhas 1:1.000.000, das províncias, para nas escalas maiores, > 1:100.000 priorizar áreas demandadas por finalidades específicas como o desenvolvimento regional e a implantação de infraestrutura. Por esse motivos tem sido aplicada de forma adaptada à realidade brasileira em diversos projetos, como a Carta Geotécnica do estado de São Paulo, na escala 1:500.000 (Nakazawa, Freitas & Diniz, IPT, 1994); *Engineering geological zoning of Sao Paulo State*, por Zuquette, Pejon & Sinelli (1994), na escala 1:500.000; na Base de dados Geoambientais do estado de São Paulo, na escala 1:500.000 (Diniz et al., IPT, 1997), e no SIG Geoambiental do Brasil proposto em 2003 (Diniz et al, 2003), e no Mapa de Geodiversidade do Brasil (CPRM, 2006), na escala 1:1.000.000.

Este sistema PUCE se baseia em princípios geomórficos homogêneos para cada unidade de terreno. Todos os dados levantados devem ser tratados de maneira a ser tornar compatíveis com um sistema computacional. O sistema originário de um similar de Christian & Stewart (1953 apud ZUQUETTE, 1985). As principais classes de terreno são: Província, padrão, Unidade e Componente. Os atributos são apresentados em 3 classes que definem seu interesse para: estudo de viabilidade, estudo de planejamento e finalidade construtivas. Nele o nível de Unidade de Terreno é compatível com a escala adequada à cartas geotécnicas de aptidão urbana e o nível de Componente de Terreno, com cartas de risco a movimentos gravitacionais de massa em áreas urbanas.

**Tabela 5** – Critérios de avaliação: suscetibilidade a movimentos de massa.

AVALIAÇÃO						
SUSCETIBILIDADE/RISCOS						
PROBLEMA	ATRIBUTO	CLASSES				
		ESTÁVEIS	POTENC. INSTÁVEL	PRÉ-INSTÁVEL		
MOVIMENTO DE MASSAS	FUNDAMENTAIS PONDERÁVEIS				SUSCETIBILIDADE	
	DECLIVIDADE	<10%	10 - 20%	>20%		
ESCOAMENTOS	FORMA DA ENCOSTA	convexa/retilínea	concava/convexa	concava/retilínea	POTENCIALIDADE	
1 RASTEJOS	COBERTURA VEGETAL	grande porte/espessa	médio porte/esparsa	pequeno porte/esparsa	DE OCORRER	
2 CORRIDAS						
ESCORREGAMENTOS	FUNDAMENTAIS VARIÁVEIS				O PERIGO	
	DIREÇÃO DE CHUVAS	---	---	---	HAZARD	
	3 ROTACIONAIS	SAZONALIDADE DE CHUVAS	não	sim		sim/concentrada
	4 TRANSLACIONAIS	INTENSIDADE DE CHUVAS				
5 QUEDAS DE BLOCOS OU DETRITOS	INSOLAÇÃO				ANÁLISE DE HAZARD DE FENÔMENOS QUE EFETIVAMENTE OCORREM	
	FUNDAMENTAIS CONDICIONANTES DO TIPO DE EVENTO (12345)					
	TIPO DE MATERIAL					
	ESPESSURA DO MAT. INCONSOLIDADO					
	PROF. DO N.A. PERMEABILIDADE EXPANSIBILIDADE COMPRESSIBILIDADE DECONTINUIDADES					
	SEUNDÁRIOS					
	GRAU DE ALTERAÇÃO					
	NAUREZA E PERFIL DA UNIDADE					

Fonte: SOUZA-DINIZ, 1992.

**Tabela 6** – Critérios de avaliação: aptidão à urbanização, loteamentos residenciais e industriais.

AVALIAÇÃO							
APTIDÃO À URBANIZAÇÃO							
USO	ATRIBUTO	CLASSES					
		APTO		COM RESTRIÇÕES		NÃO RECOMENDADO	INAPTO
LOTEAMENTOS  RESIDENCIAIS /  INDUSTRIAIS		áreas com as melhores condições para o nível de profundidade, a obra e a fundação		áreas não tão adequadas quanto à carga admissível na fundação, mas não descartáveis com obras de melhoramentos		áreas com problemas de capacidade de carga de fundação, e potencialidade a colapsibilidade e/ou expansibilidade	áreas com solo colapsível, e/ou expansível e baixa capacidade de carga na fundação, ou problemas de escavabilidade
	PROF. TOPO ROCHOSO (2,5,10m)	2m	5m-10m	2m	5m-10m	2m 5m 10m	2m 5m 10m
FUNDAÇÃO	TIPOS USUAIS	direta	Profunda	direta	Profunda	direta-peq. port. profunda-outras	profunda
	TIPO DE MATERIAL	rocha sã ígnea, metamorf., sedmet, duras		r.alterada, r.branda,mat.inc.arenito, folhel., argilito, seixos		argilas / siltes moles areias med. comp.	solos colapsíveis argilas moles areias fofas
	CARGA ADMISSÍVEL	0,6 - 10 MPa		0,1 - 0,6 MPa		0,075 - 0,1 MPa	<0,05 MPa
	SPT	>30		6 - 30		< 6	< 2
		TIPO DE MATERIAL	material incons.		solo residual		rocha alterada
ESCAVABILIDADE	PROF. TOPO ROCHOS	>5m		2-5m		<2m	0m
	PROF. N.A.	>5m		1-2m		<1m	
	DECLIVIDADE	<10%		10-15%		>15%	
	EQUIPAMENTO	manual ou mecânico comum		mecânico comum		mecânico pesado ou explosivo	explosivo
OBRAS ENTERRADAS	TIPO DE MATERIAL	solo residual maduro e/ou residual jovem com perfil homogêneo e espesso		solo residual jovem ou saprolito com intercalações de blocos de rocha		expansivos, matações ou blocos, ricos em soluções corrosivas ph<7	rocha sã
	PROF. TOPO ROCHOSO	2-5m		2m		> 5m	>5m e >1m
	NÍVEL D' ÁGUA	>5m		1-2m		2m	<1m
	Ph da Água	---		---		---	<7
	CONCENTRAÇÃO DE SAIS	---		---		---	>1000mg/l
	RESISTIVIDADE	<1500ohm/cc		---		---	---

Fonte: SOUZA - DINIZ, 1992.

**Tabela 7** – Critérios de avaliação: adequabilidade a usos/engenharia, estradas.

AVALIAÇÃO					
ADEQUABILIDADE A USO/ENGENHARIA					
USO	ATRIBUTO	CLASSES			
		ADEQUADO	COM RESTRIÇÕES	NÃO RECOMENDADO	INADEQUADO
ESTRADAS					
TRACADO	DECLIVIDADE	<5%	5 - 10%	10 - 30%	>30%
	ÁREAS IMUNDÁVEIS	NA > 2m	NA 1 -2m Com variações	NA = 1m Com variações	NA < 1m
	AREAS INSTÁVEIS	com tratamento	com tratamento	sem possibilidade de tratamento	sem possibilidade de tratamento
	ESPESSURA MAT. INC.	> 2m	bloco rochoso intercalado	blocos e matações	rocha aflorando
	SUBSTRATO ROCHOSO	>10m	5 - 10m	2 - 5m	< 2m
	CONDIÇÕES HIDROL. E DRENAGENS SUP.	canais baix.or baixa densdren	canais médios média desdren	rios principais alta dens.drenag	várzeas e planícies de inundac.
	CUSTO DO TERRENO	baixo	médio	alto	alto
	ESCAVABILIDADE	boa	regular	baixa	ma
SUBLEITO	DRENABILIDADE	boa drenabilidade	média drenabilidade	baixa drenabilidade	ma drenabilidade
	EXPANSIBILIDADE	baixa	média	alta	alta
	RESISTÊNCIA	alta	média	baixa	baixa
	ESPESSURA DO M.I.	>5m	2-5m	0-2m	inexistente
ATERROS	DECLIVIDADE	0-10%	10-20%	20-30%	>30%
	FORMA DE RELEVO	platô/planície	colina/morro	morro/montanha	montanha/serra
	EXPANSIBILIDADE/COMPRESSIBILIDADE	<0,5%	5-3%	>3%	>3%
Local	PROF. N.A	>10m	5-10m	2-5m	<2m
	PROF. TOPO ROCHOS	>5m	2-5m	0-2m	aflorante
MATERIAL	TEXTURA	areia siltosa	areia argilosa	silte arenoso	argila
	RESISTÊNCIA MINI-CBR	>30	12-30	4-12	< 4
	PERMEABILIDADE (K)	>10 <sup>-3</sup> <sub>cm/s</sub>	10 <sup>-3</sup> <K<10 <sup>-6</sup>	K<10 <sup>-6</sup>	K<10 <sup>-6</sup>
	LL	NP	40-50	50-60	>60
	IP	NP	<7	7-30	>30
DE EMPRÉSTIMO	CLASSIFICAÇÕES				
	SUCS	GM/SM/GP/GM	GC/SC	SP/SM/ML/CL/OL	MH/CH/OH/Pt
	HRB	AI/A3	A2	A4/A5	A6/A7
	MCT	NA'/LA'	LA	NS'/NA	NG'/LG'
	MIN ARG EXPANSIV.	inexistente	baixa	média	alta
	%MICAS	INEXISTENTE	BAIXA	MÉDIA	ALTA
	BLOCOS E MATAÇÕES	inexistente	ocorrência pequena	ocorrência em sub-superfície	ocorrência em grande quantidade

Fonte: SOUZA - DINIZ, 1992.

**Tabela 8** – Critérios de avaliação: adequabilidade a uso/engenharia, barragens rurais.

AVALIAÇÃO					
ADEQUABILIDADE A USO/ENGENHARIA					
USO	ATRIBUTO	CLASSES			
		ADEQUADO	COM RESTRIÇÕES	NÃO RECOMENDADO	INADEQUADO
BARRAGENS RURAIS  altura max= 10m  volume de aterros <700.000m <sup>3</sup> )		áreas com as melhores condições para de viabilidade para implantação da obra	áreas menos adequadas devido a algumas dificuldades, porém, com soluções viáveis	áreas com grandes dificuldades, exigindo alto custo para alternativas de solução	áreas impróprias sem qualquer potencialidade, e/ou local e materiais inexistentes
	TIPO DE VALE	em "V" fechado	misto	em "U" aberto	aberto
LOCAL	ÁREA DA BACIA	< 15km <sup>2</sup>	15-30 km <sup>2</sup>	>30km <sup>2</sup>	Sem captação perene ou >40km <sup>2</sup>
	AMPLITUDE DE REL.	>60m	20-60m	20m	<20m
	DECLIVIDADE DA VERTENTE DO TALVEGUE	>10%	5-10%	<5%	<5%
		>10%	>10%	5-10%	<5%
	ESPESSURA DO M.I.	5m	<5m	>5m	<1m
	DESCONTINUIDADES DENSIDADE	baixa	baixa	alta	alta
		paralela	transversal	transversal	perpendicular
DIREÇÃO/EIXO					
MATERIAIS DE EMPRÉSTIMO	COMPACTAÇÃO	96%	---	---	---
	$P_D^{max}$	1-3% acima	---	---	---
	$\omega_{OT}$				
	% DE MICAS	<3%	3 - 10%	>10%	---
	EXPANSIBILIDADE	muito baixa	baixa	média	alta
	ESPESSURA DO M.I.	>10m	5 - 10m	2- 5m	<2m
	TEXTURA	argila arenosa	silte argiloso	areia siltosa	argila ou areia
		argila siltosa	silte arenoso	areia argilosa	
AREIAS	grande volume	pequeno volume	inexistente	inexistente	
BRITA E MATERIAIS DE TRANSIÇÃO cascalho brita saibro	grande volume	pequeno volume	inexistente	inexistente	
	DISTÂNCIA DOS MATERIAIS DE EMPRÉSTIMO	no local da barragem	média	distante	inexistente

Fonte: SOUZA - DINIZ, 1992.

**Tabela 9** – Critérios de avaliação: adequabilidade a usos/engenharia, disposição de resíduos.

AVALIAÇÃO					
ADEQUABILIDADE A USO/ENGENHARIA					
USO	ATRIBUTO	CLASSES			
		ADEQUADO	RAZOÁVEL	INADEQUADO	
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS	DECLIVIDADE	2-5%	<10%	<2% ou >10%	
	FORMA DE ENCOSTA	retilínea	combinada	convexa ou plana	
	MATERIAL INCONSO-LIDADA	homogêneo	pequena variação no perfil	heterogêneo	
	TEXTURA	média areia silteosa areia argilosa (25% de finos)	silte arenoso	grossa areia média a grosso ou finos argila e silte	
	PERFIL TÍPICO	homogêneo	heterogêneo	com várias intercalações texturas	
	1. aterros sanitários	ESPESSURA DO MAT. INCON-SOLIDADO (não saturada)	>10m	5-10m	<5m
	- controlados	CTC	>15 meq/100g	5-15 meq/100g	<5 meq/100g
	- sem coleta de chorume	pH	6 - 8	---	<7
		K	<10 <sup>-2</sup> cm/seg	---	>10 <sup>-2</sup> cm/seg
	2. lagoas de vinhoto	PROF. N.A.	>10m abaixo da fonte poluidora	5-10m	<5m
3. fossas ou tan-ques sépticos	GRADIENTE N.A.	Baixo		Alto	
	VELOCIDADE E DIREÇÃO DAS ÁGUAS	(para	águas	subterrâneas)	
	PROFUNDIDADE DO TOPO ROCHOSO EM RE-LAÇÃO AS COMDIÇÕES HIDRICAS	>2m do NA	---	<2m	
	ÁREA DE INUNDAÇÃO	inexistente	se houver barramento	proximidade	
	ÁREA DE RECARGA	inexistente	se houver proteção	existente	
	MOVIMENTO DE MASSAS	inexistente	se houver contenção	existente	

Fonte: SOUZA - DINIZ, 1992.

**Tabela 10** – Critérios de avaliação: recursos naturais, hídricos e em material de construção civil.

ANÁLISE QUALITATIVA			AVALIAÇÃO QUANTITATIVA	
APTIDÃO				
RECURSO	CLASSES			
	APTO	INAPTO	RECOMENDAÇÕES	ATRIBUTO
existente	inexistente	ocorrências	potencialidades	
HÍDRICO				SUBACIAS
SUPERFICIAL				ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA CARGAS POLUIDORAS SANEAMENTO DE ESGOTOS RECURSOS HIDROENERGÉTICO
SUBSUPERFICIAL				AQUÍFERO-GEOLOGIA TIPO E AQUÍFERO ESPESSURA PERMEABILIDADE TRANSMISSIVIDADE CAPACIDADE ESPECÍFICA E VAZÃO DE POÇOS
MATERIAL DE CONSTRUÇÃO			GRAU DE ALTERAÇÃO	MINERALOGIA GRANULOMETRIA EQUIVALENTE AREIA
AREIA			IMPUREZAS ARGILIO-MINERAIS MINERALOGIA DUREZA	
CERÂMICA COMUM			DESCONTINUIDADES POROSIDADE DENSIDADE APARENTE	ESTÁ AVALIAÇÃO SE DARÁ EM CARÁTER DE INVESTIGAÇÃO LOCAL, EM ESCALA MAIOR DE TRABALHO.
CERÂMICA VERMELHA			ABSORÇÃO AZUL	
PEDRAS ORNAMENTAIS (cantaria)			DE METILENO PETROGRÁFICO DETERMINATIVO	
AGREGADOS (brita)			ABRASÃO FORMA ALTERABILIDADE (ciclagem)	

OBSERVAÇÕES:  
As unidades de Terreno foram avaliadas qualitativamente quanto à sua aptidão, ou seja, potencialidade a recursos naturais existentes;

A viabilidade de exploração de tais recursos deverá ser avaliada quantitativamente nos aspectos técnicos e econômicos, de acordo com de terminado recurso de interesse;

Fonte: SOUZA - DINIZ, 1992.

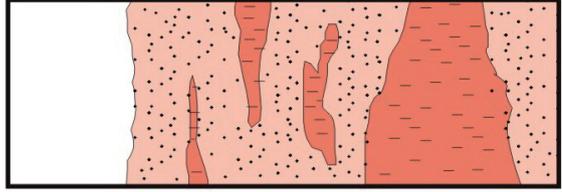
Tabela 11

**CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO** PROVÍNCIA DE TERRENO: 1 e 2 **SISTEMA DE TERRENO:** Planícies Aluviais **Litologia:** areia, areia - siltoosa, areia argilosa, areia conglomerática

Nº DA UNIDADE DE TERRENO	FORMAS DE RELEVO						INCLUSÕES
	TIPO DE FORMA	EXPRESSÃO DA ÁREA	FORMAS TÍPICAS	AMPLITUDE DE RELEVO	DECLIVIDADE	DRENAGEM PADRÃO DENSIDADE	
I 111 . QA . 1	Planícies aluvionares	10 km <sup>2</sup>	vales abertos preenchidos	< 20 m	<5 %	retangular 2 - 4 (canais/16 km <sup>2</sup> )	terraços aluvionares de agregação ou de degradação terraços aluvionares concrecionados

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS														
VT	NÍVEL ALTERAÇÃO	TEXTURA (%)		AREIA	SILTE	ALGILA	ω <sub>NAT</sub> (%)	ρ <sub>d</sub> campo	ρ <sub>s</sub>	LL	LP	IP	ω <sub>OT</sub>	ρ <sub>d</sub> max
		AREIA	SILTE											
I	Aluvião	92	6	2	6,82	1,542	2,535	NP	27,15	NP	NP	--	--	--
		62	22	16	21,91	1,917	2,517	30,6	3,45	--	--	--	--	--

MATERIAL INCONSOLIDADO										
PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO	ASSOCIAÇÃO PEDOLÓGICA	TEXTURAL	MCT	SUCS	HRB	COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO				
							AREIA	SILTE	ALGILA	ω <sub>NAT</sub> (%)
aluvião heterogêneo lentes de areia média/ areia siltoosa/ argila / matéria orgânica intercaladas espessura = 15 m	solos hidromórficos a gleissolos	areia média	--	SP	A-3	poroso				
						permeável				
		areia siltoosa	NC'	SM	A-2	baixa compactidade				
						não colapsível				
						baixa capacidade de carga				
						não expansível				



HETEROGÊNEO

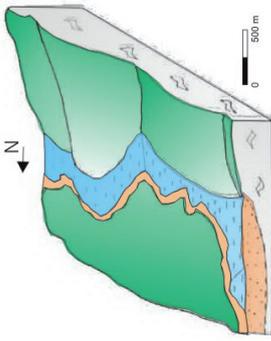
Lentes de sedimentos aluvionares intercalados  
areia média a areia siltoosa amarela a marrom com matéria orgânica

Espessura: 2 - 15 m  
SPT: < 15

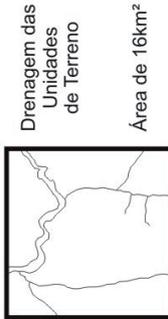
Perfil Típico de Alteração

Tabela 12

**AValiação do Terreno**

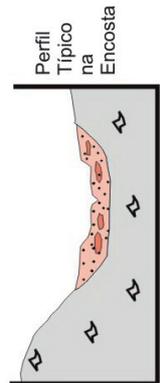


Bloco diagrama do arranjo dos sistemas com as províncias de terreno no relevo

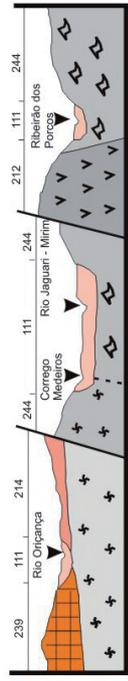


Drenagem das Unidades de Terreno

Área de 16km<sup>2</sup>



Perfil Típico na Encosta



Seção longitudinal pelos Sistemas e Unidades de Terreno

CLASSIFICAÇÃO ESTRATIGRÁFICA	TIPO LITÓGICA	TIPO GEOTÉCNICO
Aluvião Quaternário	QA	Aluvião Quaternário 32.QA
Sedimentos aluvionares recentes	areia média	

Nº DA UNIDADE DE TERRENO	RISCOS GEOLÓGICOS (HAZARDS) - SUSCETIBILIDADE		
	EROSÃO	ASSOREAMENTO	INUNDAÇÃO
I 111 . QA . 1	baixa	alta	alta
			MOVIMENTO DE MASSA
			estável

OCUPAÇÃO POR ENGENHARIA - ADEQUABILIDADE			
LOTEAMENTO	ESTRADAS	BARRAGEM RURAL	DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS
			RESIDENCIAL
inadequado	inadequado	adequado com restrições	inadequado

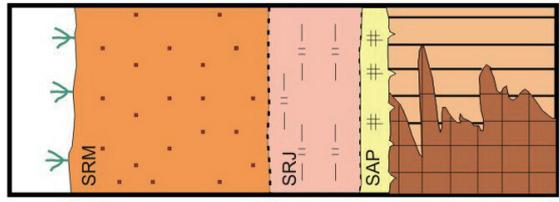
RECURSOS NATURAIS - APTIDÃO				
HÍDRICOS		MATERIAL DE CONSTRUÇÃO		
SUPERFICIAIS	SUBTERRÂNEOS	AREIA	CANTARIA	BRITA
apto	inapto	apto	inapto	inapto
				CERÂMICA VERMELHA
				CERÂMICA COMUM
				apto explorada nos rios Jaguari-Mirim e Ribeirão dos Porcos para tijolo comum

**CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO** PROVÍNCIA DE TERRENO: 3 SISTEMA DE TERRENO: Morrotes Litologia: Laminitos, siltitos, argilitos, arenitos, diamictitos

Nº DA UNIDADE DE TERRENO	FORMAS DE RELEVO						INCLUSÕES
	TIPO DE FORMA	EXPRESSÃO DA ÁREA	FORMAS TÍPICAS	AMPLITUDE DE RELEVO	DECLIVIDADE	DRENAGEM PADRÃO DENSIDADE	
VII 234 . LA . 2 (1)	Morrotes Alongados e Espições	160 km²	topos achatados, vertentes retilíneas e ravinações, interflúvios sem orientação preferencial	< 80 m	0 - 5% e 5 - 10 %	dendrítico 2 - 4 (canais/16 km²)	QA AA topos aplainados com cobertura inconsolidada e/ou afloramento rochoso de arenito arcossiano
VIII 234 . LA . 3				< 100 m	> 10 %	24 (canais/16 km²)	LJ vales fechados com afloramento Formação Itararé

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS														
VT	NÍVEL ALTERAÇÃO	AREIA	TEXTURA (%)		SILTE	ALGILA	$\omega$ NAT (%)	$\rho_4$ campo	$\rho_s$	LL	LP	IP	$\omega_{OT}$	$\rho_d$ max
VII	SEM	70	25	5	5	5	8,52	1,867	2,544	15,6	NP	NP	10,15	1,988
VIII	SRJ	30	45	25	25	25	26,52	1,918	2,426	48,72	NP	11,31	24,25	1,494

MATERIAL INCONSOLIDADO						
PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO	ASSOCIAÇÃO PEDOLÓGICA	TEXTURAL	MCT	SUCS	HRB	COMPORTEAMENTO GEOTÉCNICO
SMR espesso nos topos e raso nas encostas, chegando a expor o solo residual jovem e a rocha na parte inferior da encosta e nos fundos de vale	Podzólico vermelho - amarelo textura argilosa leve	SMR areia siltosa	NA'	SM	A-5	poroso baixa permeabilidade
		SRJ silte argiloso	NG'	ML	A-2	alta erodibilidade colapsível alta compressibilidade expansível



Perfil Típico de Alteração

**SOLO RESIDUAL MADURO**  
Areia siltosa a areia argilosa porosa, pouco evoluído vermelho claro, mole a medianamente compacta

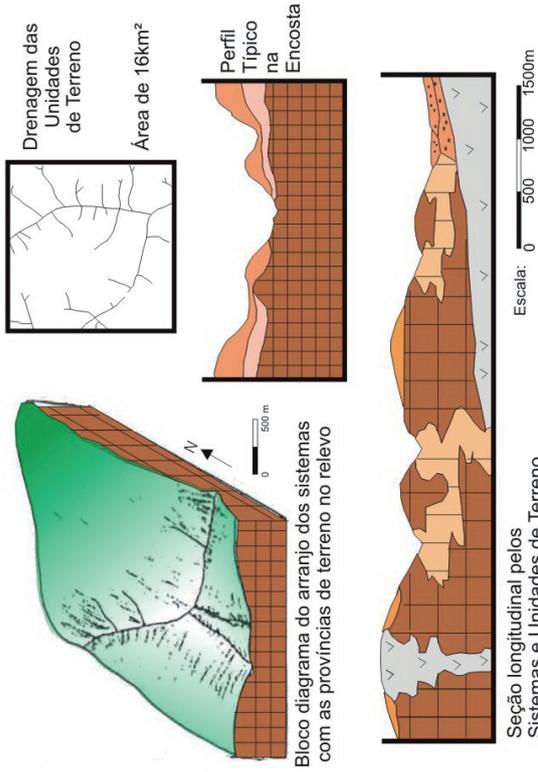
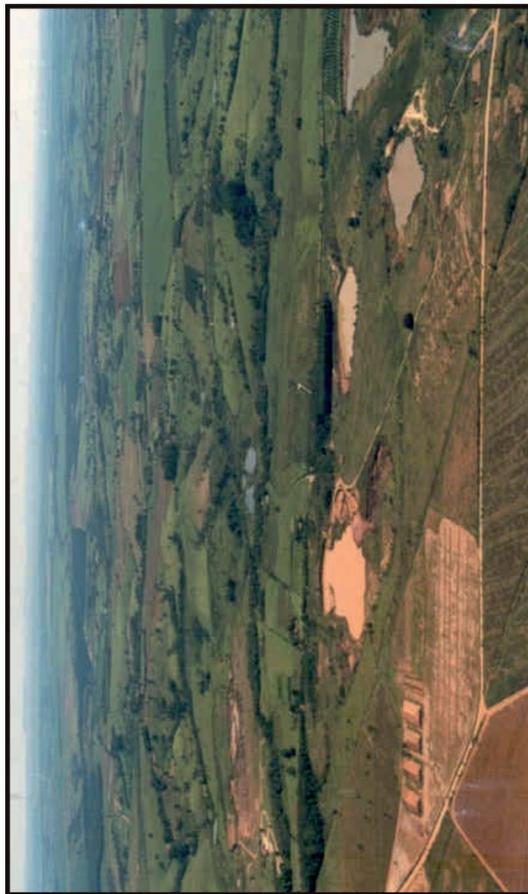
**SOLO RESIDUAL JOVEM**  
Silte argiloso a argila, baixo índice de vazios, medianamente compacto

**SAPROLITO**  
Silte arenoso compacto

**LAMITOS AQUIDAUANA/ITARARÉ**  
espessura: 2 - 10 m  
SPT: 1 / 7 / 23

Tabela 14

**AVALIAÇÃO DO TERRENO**



CLASSIFICAÇÃO ESTRATIGRÁFICA	TIPO LITÓGICO	TIPO GEOTÉCNICO
Grupo Tubarão	Laminito vermelho tijolo Arenito Micáceo	Laminitos Solo hidromorfo (00.LA)
Formação Aquidauana	Diamictito	SRM (03.LA)
Formação Itararé	Arenito com matriz argilosa fração arenosa grosseira a muito fina com matriz argilosa com mica e fragmentos angulosos	SAP (06.LA) (09.LA) ROCHA (01.LI)

Nº DA UNIDADE DE TERRENO	RISCOS GEOLÓGICOS (HAZARDS) - SUSCETIBILIDADE			MOVIMENTO DE MASSA
	EROSÃO	ASSOREAMENTO	INUNDAÇÃO	
VII	alta	nenhuma	nenhuma	estável
VIII	alta	nenhuma	nenhuma	potencialmente instável (escorregamentos)

OCUPAÇÃO POR ENGENHARIA - ADEQUABILIDADE			
RESIDENCIAL	LOTEAMENTO		DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS
	INDUSTRIAL	ESTRADAS	
adequado	adequado	não recomendado	razoável
não recomendado	não recomendado	com restrições	adequado
		com restrições	inadequado

RECURSOS NATURAIS - APTIDÃO						
HÍDRICOS		MATERIAL DE CONSTRUÇÃO				
SUPERFICIAIS	SUBTERRÂNEOS	AREIA	CANTARIA	BRITA	CERÂMICA VERMELHA	CERÂMICA COMUM
inapto	baixo potencial	apto	inapto	inapto	inapto	inapto
apto (média potencialidade)		inapto	inapto	inapto	apto (09.LA) (01.LI)	apto (09.LA)

Tabela 15

**CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO** PROVÍNCIA DE TERRENO: 1 SISTEMA DE TERRENO: Morros Paralelos **Litologia: Migmatitos**

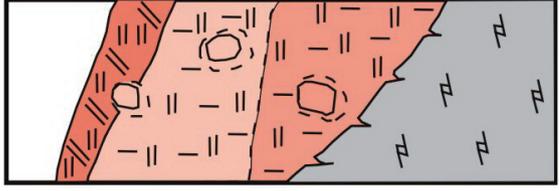
Nº DA UNIDADE DE TERRENO	TIPO DE FORMA	EXPRESSÃO DA ÁREA	FORMAS TÍPICAS	FORMAS DE RELEVO			INCLUSÕES
				AMPLITUDE DE RELEVO	DECLIVIDADE	DRENAGEM PADRÃO DENSIDADE	
XIV 244 . MG . 2	Morros Paralelos	60 km <sup>2</sup>	topos arredondados a angulosos; vertentes retilíneas a convexas	60 m	5 - 10%	treliça a localmente sub-dendrítico	Serras com vertentes ravinadas com matações e movimentos de massa
XV 244 . MG . 3 03/01IB				180 m	>10%		GD, GN, GC IB, LA, QA

**PARÂMETROS GEOTÉCNICOS**

VT	NÍVEL ALTERAÇÃO	AREIA	TEXTURA (%)		ARGILA	ω NAT (%)	ρ <sub>d</sub> campo	P <sub>s</sub>	LL	LP	IP	ω OT	ρ <sub>d</sub> max
			SILTE	ALGILA									
XV	colúvio	56	6	38	21,1	1,959	2,596	62,8	45,4	17,7	19,8	1,635	
XV	SRM	45	25	26	23,14	1,652	2,637	45,5	36	9,5	20	1,614	
XIV	SRJ	18	23	59	29,71	1,853	2,635	63	46,4	16,6	31,4	1,397	
XV	SAP	60	32	8	17,4	1,545	2,594	42	32,9	9,1	18,8	1,652	

**MATERIAL INCOSSOLIDADO**

PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO	ASSOCIAÇÃO PEDOLÓGICA	TEXTURAL	MCT	SUCS	HRB	COMPORTEAMENTO GEOTÉCNICO
Perfis bem evoluídos com solo laterizado com pedregulhos e poucas matações solo residual maduro com estrutura macro-porosa	Podzólico vermelho escuro textura argilosa	Colúvio - argila arenosa SRM - argila siltosa SRJ - argila siltosa SAP - areia siltosa	LG'	CH	A-7	não expansível
			LG'	CL	A-7	média a alta erodibilidade
			NG'	CH	A-7	compressível
			NS'	SM	A-2	



COLÚVIO

Argila arenosa mole a média marrom a vermelha

SOLO RESIDUAL MADURO

Argila siltosa muito mole a rija marrom acinzent. a avermelhada

SOLO RESIDUAL JOVEM

Argila siltosa rija marrom acinzentado com matações

ROCHA

Migmatito cinza são

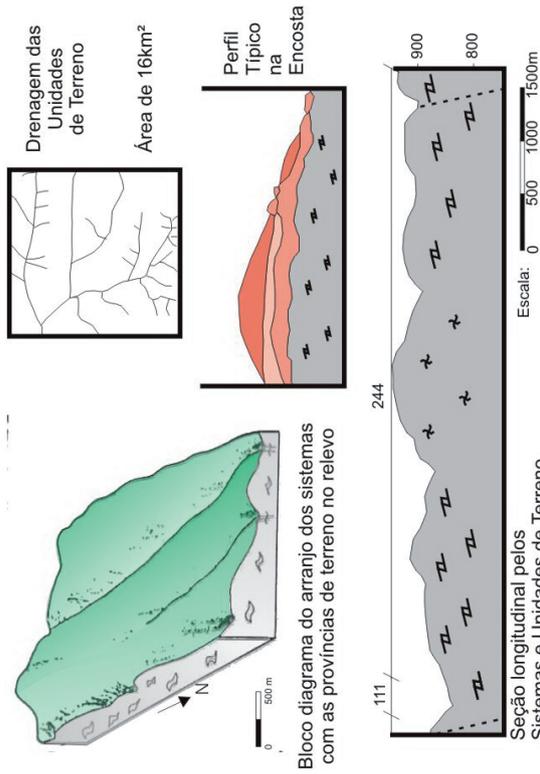
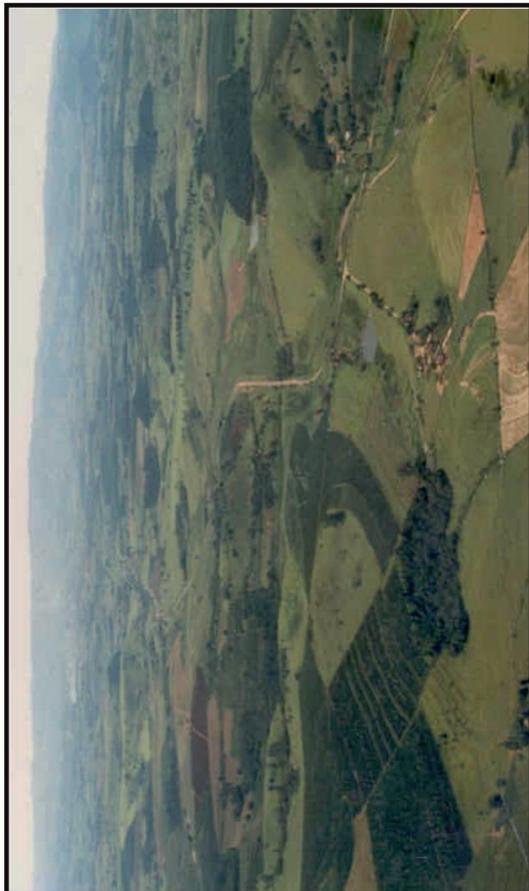
Espessura = 5 - 25 m

SPT = 1 - 36

Perfil Típico de Alteração

Tabela 16

**AVALIAÇÃO DO TERRENO**



CLASSIFICAÇÃO ESTRATIGRÁFICA	TIPO LITÓGICA	TIPO GEOTÉCNICO
Complexo Varginha	migmatitos de estruturas diversas Schielliren nebulítica agmatítica cinza, branco, róseos bandados biotíticos	Migmatitos SRJ 08MG, 01MG Colúvio 17MG
Migmatitos		SRM 08MG SAP 03MG

Nº DA UNIDADE DE TERRENO	RISCOS GEOLÓGICOS (HAZARDS) - SUSCETIBILIDADE			MOVIMENTO DE MASSA
	EROSÃO	ASSOREAMENTO	INUNDAÇÃO	
XIV	média	nenhuma	nenhuma	estável
XV 07MG	média	nenhuma	nenhuma	potencialmente instável para Rastejo
08MG 03MG	alta	nenhuma	nenhuma	potencialmente instável para escorregamento

OCUPAÇÃO POR ENGENHARIA - ADEQUABILIDADE			DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS		
LOTEAMENTO		ESTRADAS	BARRAGEM RURAL		
RESIDENCIAL	INDUSTRIAL				
inadequado	inadequado	inadequado	com restrições	inadequado	inadequado
com restrições	com restrições	com restrições	inadequado	inadequado	inadequado
inadequado	inadequado	não recomendado	inadequado	inadequado	inadequado

RECURSOS NATURAIS - APTIDÃO					
HÍDRICOS		MATERIAL DE CONSTRUÇÃO			
SUPERFICIAIS	SUBTERRÂNEOS	AREIA	CANTARIA	BRITA	CERÂMICA COMUM
mananciais	inapto	inapto	inapto	inapto	inapto
mananciais	inapto	inapto	inapto	inapto	inapto
mananciais	inapto	inapto	apto (saibro)	inapto	inapto

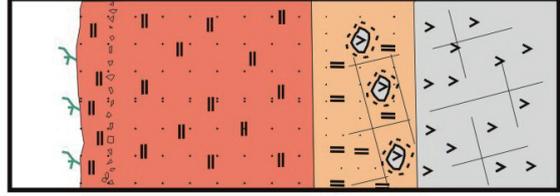
Tabela 17

**CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO**      **PROVÍNCIA DE TERRENO: 3**      **SISTEMA DE TERRENO: Colinas Amplas**      **Litologia: IB magmatitos básicos, diabásio**

Nº DA UNIDADE DE TERRENO	FORMAS DE RELEVO						INCLUSÕES
	TIPO DE FORMA	EXPRESSÃO DA ÁREA	FORMAS TÍPICAS	AMPLITUDE DE RELEVO	DECLIVIDADE	DRENAGEM PADRÃO DENSIDADE	
IX 312.IB.1 09IB (SRM)	Morros	5 km²	topos aplainados, vertentes convexas a retílineas, vales abertos a fechados, planícies	< 20 m	2 - 5%	sub-retangular	00IB lagoas, alveolos, ou "dales" LA. 2 Laminto Aquidauana QA Aluviões LA.3 01.IB.3 escarpa cuneira
X 312.IB.2 00.IB, 17.IB, 07/09IIB	Basálticos de arredondados		aluvionares inter., cuneiras	< 80 m	5 - 10 %		
XI 312.IB.3 08/0IIB				< 120 m	> 20%		

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS												
VT	NÍVEL ALTERAÇÃO	AREIA	TEXTURA (%) SILTE	ALGILA	ω NAT (%)	ρ <sub>d</sub> campo	ρ <sub>s</sub>	LL	LP	IP	ω OT	ρ <sub>d</sub> max
X	colúvio	24	21	55	27,71	1,732	2,878	54,1	35,1	19	27,1	1,555
IX	SMR	30	32	38	26,72	1,512	3,572	37,1	26,6	10,6	25,25	1,565
XI	SAP	56	36	8	37,05	2,033	2,831	46	38,7	7,3	29,45	1,428

MATERIAL INCONSOLIDADO						
PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO	ASSOCIAÇÃO PEDOLÓGICA	TEXTURAL	MCT	SUCS	HRB	COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO
Colúvio - solo transportado com contribuições de areia arredondada, com hematita e magnetita laterizado SRM - espesso homogêneo evoluído, com estrutura macro-porosa laterizado SAP - raso com fragmentos e bloco de rocha alterada	Latossolo roxo textura argilosa e/ou Latossolo vermelho escuro textura média inclusões de solos hidromórficos em lagoas nas cabeceiras de drenagem, em sub. Superf. = crosta concrecionada dura	SMR - argila arenosa a argilosa Colúvio - argila arenosa SAP - areia siltsosa	LG'	CL	A-6	Colúvio e SRM poroso e = 1,1 a 1,6 estrutura típica de solos lateríticos permeável até 3,5 m, não expansível, alta compressibilidade  SAP pode conter argilo-mineral expansível na fração siltsosa
			LG'	CH	A-7	
			NS'	SM	A-2	



Perfil Típico de Alteração

Espessura: 2 - 25 m  
SPT: 2 / 7 / 55

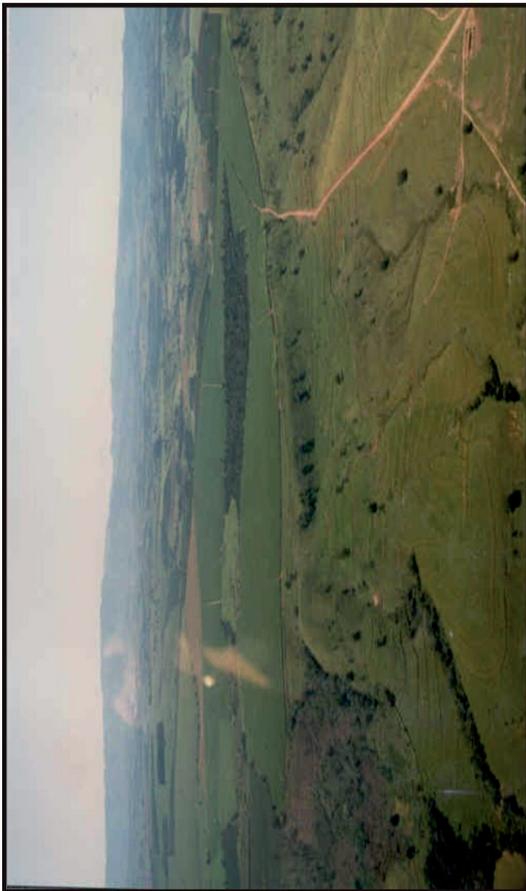
**COLÚVIO**  
Argila arenosa vermelho a marrom, com fragmentos de quartzo

**SOLO RESIDUAL MADURO**  
argila arenosa marrom escuro, média a rija, espessa, homogênea

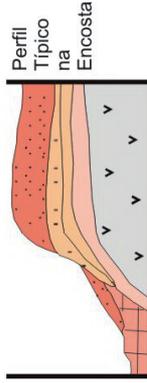
**SAPROLITO**  
areia siltsosa amarela a verde dura com fragmentos e blocos de rocha

Tabela 18

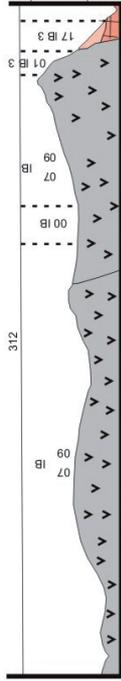
**AValiação do Terreno**



Área de 16km<sup>2</sup>



Bloco diagrama do arranjo dos sistemas com as províncias de terreno no relevo



Escala: 0 500 1000 1500m

CLASSIFICAÇÃO ESTRATIGRÁFICA	TIPO LITÓGICA	TIPO GEOTÉCNICO
Grupo São Bento	IB Intrusiva Básica	Magmatitos Básicos 09IB 00IB
Formação Serra Geral		17IB
Sills de diabásio, alguns em contato por controle estrutural		07/09IB
		03/01IB

Nº DA UNIDADE DE TERRENO	RISCOS GEOLÓGICOS (HAZARDS) - SUSCETIBILIDADE				MOVIMENTO DE MASSA
	EROSÃO	ASSOREAMENTO	INUNDAÇÃO		
IX	nula	nula	nula	nula	estável
X	baixa	nula	nula	nula	estável
XI	média	nula	nula	nula	previamente instável observado o fenômeno de rastejo (17.IB.3)

OCUPAÇÃO POR ENGENHARIA - ADEQUABILIDADE			
LOTEAMENTO	ESTRUTURAS		DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS
	INDUSTRIAL	RURAL	
adequado	adequado	inadequado	adequado
adequado	adequado com restrições	com restrições	razoável
inadequado	inadequado	inadequado	inadequado

RECURSOS NATURAIS - APTIDÃO					
HÍDRICOS		MATERIAL DE CONSTRUÇÃO			
SUPERFICIAIS	SUBTERRÂNEOS	AREIA	CANTARIA	BRITA	CERÂMICA VERMELHA COMUM
inapto	baixo potencial	inapto	inapto	inapto	inapto
apto baixo potencial	somente nas discontinuidades	inapto	inapto	inapto	inapto
apto baixo potencial		apto usado como saibro	apto como blocos de pavimento	apto explorado na areia	inapto

A IAEG (*International Association of Engineering Geology*) elaborou através de comissões formada em 1966, um guia para a preparação de mapas geotécnicos, publicado em 1976, através da UNESCO.

Essa metodologia classifica os mapas em função do conteúdo, da escala e da finalidade. Os fatores a serem considerados são: o caráter das rochas e solos, as condições hidrogeológicas, as condições geomorfológicas e outros.

De acordo com a finalidade, os mapas são classificados como especiais ou de multifinalidade. Segundo o conteúdo, são: analíticos, abrangentes, auxiliares e complementares. E segundo a escala, grande ( $> 1:10.000$ ), média (entre  $1:10.000$  e  $1:100.000$ ) e pequena ( $< 1:100.000$ ).

Zuquette (1987), ainda cita metodologias como a espanhola (CEOTMA), ARDA – Canadense, a Suíça, Kiefer (EUA), ZERMOS e Sanejoud (1979) na França, dentre outras.

Dentre os estudos de caráter regional que se fundamentam em critérios geomorfológicos, destacam-se Thomas (1974), Verstappen & Zuidan (1975), Young (1976), Leighton (1976), Palner (1976), Hansen (1976), Koons (1976), Coates (1976), Legget (1976), Foose & Hess (1976), Orsborn (1976), Speight (1977), Hawkins & Privett (1979), Zuidan (1979), Kertész (1979), Kreig & Reger (1980), Soeters & Rengers (1981), Rengers (1981), Verstappen (1983), Mc Caig (1985) Burt & Trudgill (1985), Hole & Campbell (1985), King (1986), Zuidan (1985), Nagarajan & Shah (1987), Meijerink (1988), Cook & Doornkamp (1990), in Souza – Diniz, 1992, resumidos na Tabela 2.

A realização de estudos geotécnicos regionais não era comum no Brasil até a década de 1990, contrariamente ao que acontecia em outros países, como os da Europa, EUA, Canadá e Austrália.

## 5.2 Exemplos da cartografia geotécnica nacional

O trabalho de Zuquette (1987) intitulado: “Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as condições Brasileiras” constitui-se num marco na evolução dos trabalhos sistemáticos já existentes em levantamentos geológico-geotécnicos e cartografia geotécnica. O trabalho trata desde a sistemática,

quanto à metodologia científica para elaboração de um mapa, até do levantamento das metodologias e sistemas internacionais, trazendo uma revisão completa de estado de arte até então. Além disso, propõe uma metodologia aplicada às condições brasileiras, procurando se adequar às condições socioeconômicas do país, dentro de uma relação custo/benefício favorável, sem detrimento do nível técnico/tecnológico a ser adotado.

Prandini, pesquisador do IPT, reconhecido como importante precursor e fomentador da cartografia geotécnica no Brasil, coordenou e executou diversas cartas geotécnicas municipais, (1974, 1976, 1978, 1980, 1990, 1993, 1994, 1995) apresentou em diversos trabalhos sobre os fenômenos do meio físico, observados a partir dos problemas em áreas urbanas, como abordagem metodológica para elaboração de cartas geotécnicas voltadas ao planejamento urbano, como subsídio à elaboração de Planos Diretores municipais. Em 1992, foi executada a cartografia geotécnica do município de São Paulo, na escala  $1:10.000$ , pela equipe de geólogos da PMSP, com base nesta abordagem metodológica do IPT.

Nakazawa et al (1994) apresentou a metodologia utilizada nas cartas geotécnicas elaboradas pelo IPT, tendo a aplicação como pressuposto, para compartimentação do meio físico em relação as problemas decorrentes do uso e da ocupação.

Desde a década de 90 passaram a ser consolidados estudos de cartografia geotécnica também regional no Brasil, seguindo a orientação de Zuquette (1997) que aplicou o mapeamento geotécnico na escala  $1:250.000$ , na Folha Campinas, como adequação à realidade brasileira, que contou com inúmeras elaborações de cartas  $1:50.000$  e  $1:100.000$ , em mestrados e doutorados realizados na EESC-USP.

Partindo dessa diretriz e somando-se ao pressuposto de Nakazawa et al (1994) e ainda, como atendimento à necessidade de adequação à informação geológica disponível, à sistematização de informações georreferenciadas em sistemas gerenciadores de dados para disponibilização das informações ao domínio público, como subsídio a demanda de gestão ambiental, gestão de recursos hídricos e planejamento e estudos de viabilidade de obras de infraestrutura regional, em 1994 o IPT (Nakazawa, Freitas & Diniz, 1994) publicou

a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, já em formato digital. Em 1997, a sua consolidação em Sistema de Informações Geográficas permitiu lançar lançada a Base Geoambiental do Estado de São Paulo, bem como seu SGBD – sistema gerenciador de dados, desenvolvidos no âmbito do doutorado de Diniz (1998). Esse Sistema é o que subsidia a base de dados dos Comitês de Bacia do Estado de São Paulo e o Atlas Geoambiental do Estado de São Paulo (SMA, 2002), que é o suporte do licenciamento ambiental do DAIA/SMA no estado de São Paulo.

Em 2003, foi realizado o Workshop para o SIG Geoambiental do Brasil, coordenado por Diniz. Em 2005, Diniz incluiu o projeto do SIG Geoambiental do Brasil no PPA (Programa Pluri-Anual, do Planejamento do Brasil, proposto na Constituição Federal desde 1988) da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, sendo que, em janeiro de 2006, o Projeto foi incluído no PAT (Programa de Atividades) da CPRM, Serviço Geológico do Brasil.

Os trabalhos pioneiros que tratam de metodologia de mapeamento geotécnico ou similares e sua aplicação no Brasil tiveram lugar na década de sessenta, com Haberlehner (1966), fomentando a necessidade do Mapeamento Geotécnico no País, Heine (1966) com o mapeamento geotécnico do estado da Guanabara (escala 1:5.000), Grehs (1967) que, tratando de problemas de instabilidade de encostas, realizou o mapeamento da cidade de Santa Cruz do Sul, RS.

Na década de setenta foram produzidos os trabalhos de Coulon (1973) em Morretes e Montenegro, RS, Constanzo Jr. et al (1978) e Maciel F° (1978, 1990) em Santa Maria, RS. Ainda colaboraram na produção de cartas geotécnicas desta década Cabral (1979) na baixada do Jacarepaguá e Seignemartins (1979), em Ribeirão Preto. E discutindo metodologia e área de aplicação de geologia de planejamento destacam-se Prandini et al (1974), Infanti Jr. (1974), Prandini & Iwasa (1978), em Osasco, e Prandini et al (1979), como Relatório IPT, em Santos e São Vicente, publicada em 1980.

Já na década de oitenta o IPT (1980 e 1989) realizou diversos trabalhos na confecção das cartas Geotécnicas do Município de São Paulo e do Guarujá. Dos trabalhos desenvolvidos nas Universidades destacam-se os de Zuquette (1981) em

São Carlos, Cottas (1983 e 1990) em Rio Claro e Limeira, Taveira (1986) em Campinas. Carvalho (1987) em Ouro Preto, Pejon (1987) em Araraquara, Vecchiato (1987) em Cuiabá.

Silva Jr. & Barrosos (1990) realizaram trabalho voltado a movimentos de massa em estrada do litoral do Rio de Janeiro. Ainda no Rio de Janeiro foram realizados diversos trabalhos envolvendo o problema de encostas em áreas urbanas, e principalmente em favelas, dentre eles Cunha et al (1992), Nava et al (1992) e Amaral & Maia (1992).

Foi apresentada ainda Carta Geotécnica de Recife (Coutinho et al, 1990), em Porto Alegre, voltada à caracterização de solos residuais (Bastos, 1990); e em Florianópolis abordando os condicionantes do meio físico à ocupação (Rego Neto & Barroso, 1990).

O mapeamento geotécnico tem subsidiado como produto final e como metodologia a elaboração de estudos na área de meio ambiente nos relatórios de avaliação ambiental (EIA's, RIMA's, PRAD's), e de onde se podem citar os trabalhos de Silva & Fornasari (1988) e Bitar (s.d). Observando-se a tendência de análise de questões ambientais sob a óptica de desenvolvimento sustentado, como em SMA (1991).

Trabalhos voltados ao planejamento municipal foram produzidos pelo IG, como as cartas diversas geotécnicas nas décadas de 1990 e 2000, por Brollo, Vedovello, Tominaga, dentre outros.

Diversas trabalhos foram produzidos nessas duas décadas, também pelo grupo de pesquisa da EESC-USP. Além de outros importantes desenvolvimentos na UFRJ, UFOP, URGs, UFSC, UFPe, UFBA, dentre outros.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Se por um lado existem exemplos que deram certo, na elaboração de cartas de risco e cartas geotécnicas, quanto ao seu georreferenciamento, disponibilização pública da informação e efetiva aplicação às comunidades, como nos casos de Belo Horizonte, Vitória, Recife, Blumenau e Rio de Janeiro, por outro, ainda é necessário ampliar a análise geodinâmica, que considere as regionalidades da geodiversidade brasileira e incorporar soluções locais que deram certo. Outro desafio é a articulação dos diversos sistemas de informações

geográficas, nas suas diferentes escalas, compatíveis com as várias esferas das políticas públicas. Além de permitir atualização e monitoramento dinâmicos, de forma a atender comunidades, planos municipais, gerenciamento estadual e gestão federal na prevenção de desastres naturais, que efetivamente evite vítimas, por meio da indicação de áreas favoráveis ao uso e ocupação urbana.

A cartografia geotécnica que utiliza a compartimentação por unidades de terreno, e realiza a caracterização por perfis típicos de solos tropicais, reflete a análise fenomenológica de suscetibilidade a processos do meio físico, e permite avaliar a aptidão à urbanização prevenindo os problemas de riscos geológicos.

As tabelas de classificação e avaliação de terrenos, com respectivos cujos critérios de análise, utilizadas por Souza-Diniz (1992) e Diniz (1998), podem subsidiar os novos trabalhos de cartografia geotécnica, nessa nova fase demandas para geologia de engenharia.

## BIBLIOGRAFIA

ABREU, A. E. S., 2007. Mapeamento Geotécnico para Gestão Municipal – Abordagem Combinando Três Métodos Distintos e sua Aplicação em Analândia (SP). Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 204 p.

AGUIAR, R.L. 1997. Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal. São Carlos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2v.

ALMEIDA, M.C.J.de., DINIZ, N.C. 1994. A expansão urbana no entorno metropolitano de São Paulo e os problemas decorrentes: o caso das regiões de Campinas e Vale do Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994. Anais... Camboriú: SBG.

ANON, 1972. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 5, 293-382.

AUGUSTO FILHO, O. 1994. Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua

aplicação no município de Ilha Bela, SP. Dissertação (Mestrado). EPUSP, São Paulo. 168p.

AUGUSTO FILHO, O., CERRI, L.E.S., MACEDO, E.S. de. 1990. Carta geotécnica da Serra do Mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., Salvador, 1990. Anais... Salvador: ABGE/ABMS. v.1, p.297-308.

ÁVILA, I.G.de. et al. 1987. Carta geotécnica do município de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo, 1987. Anais... São Paulo: ABGE. v.2, p.389-398.

BARROSO, J. A.; CABRAL, S.; PEDROTO, A. E. S. 1986. Mapeamento geológico-geotécnico como instrumento básico para o planejamento do uso do solo na grande região metropolitana do Rio de Janeiro. *Revista SEARJ- 20 anos de Geotécnicos*, 20: 40-44.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Metodologia detalhada para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília: MMA, SAE, 1997.

BITAR, O.Y., CERRI, L.E.S., NAKAZAWA, V.A. 1992. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2., Pereira, 1992. Atas... v. 1, p.35-41.

BRASIL, Ministério das Cidades. 2004. Critérios para mapeamento de riscos. Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos, Secretaria de Programas Urbanos. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/SNPU>, acessado em agosto de 2011.

BROLLO, M.J. 1991. Mapeamento geotécnico da quadrícula de Araras, SP, escala 1:50.000. Dissertação. (Mestrado) EESC/USP, São Carlos. 2v.

CARNEIRO, P. J. R. 1999. Mapeamento Geotécnico e Caracterização dos Materiais Naturais de Construção do Distrito Federal: uma Base de Dados para o Planejamento e Gestão. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 209p.

- CARVALHO, C.M. 2003. Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa nos entornos dos polidutos de Cubatão (SP), com o apoio de técnicas de geoprocessamento. Monografia de Trabalho de Formatura. Orientação: Riedel, P.S. IGC-UNESP. Rio Claro – SP. 94p.
- CARVALHO, C.C. 1996 Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na análise de decisão. Tese (Doutorado) EPUSP, São Paulo.
- CARVALHO, E.T. de. 1987. Carta geotécnica de Ouro Preto. São Paulo: ABGE. 53p. ( Síntese de Tese, 7).
- CECARELLI; I. C. F. **Caracterização Geotécnica do Meio Físico com uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto - Proposição Metodológica.** – Boletim de Resumos Expandidos do 380 CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 1994, Balneário Camboriú – SC. **Anais:** Balneário Camboriú: 1994.453 p.
- CECARELLI, M.J.; VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T.; ALVES, C.A.S. 1994. Avaliação geotécnica para definição do traçado do mineroduto Rio Capim-Murucupi. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário de Camboriú. *Boletim de Resumos Expandidos...* Balneário de Camboriú, SBG, v.1, p.22- 23.
- CERRI, L. 1990. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6/ CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9., Salvador, 1990. *Anais...* Salvador: ABGE. v.1, p.309-317.
- 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. *In:* ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia, 8, Rio de Janeiro, 1996. *Anais*, v.2, p.537-548.
- CERRI L.E.S. & AMARAL, C. P. 1998. Riscos geológicos. *In:* A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds). *Geologia de Engenharia*, ABGE, p.301-310.
- CHORLEY, Richard J. A. 1971. Geomorfologia e a teoria dos sistemas gerais. **Notícia Geomorfológica.** Campinas, v. 11, n. 21, p. 3-22. jun.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia.** 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- \_\_\_\_\_. Significância da teoria de sistemas em Geografia física. **Boletim de Geografia Teorética.** Rio Claro, n. 16-17, p. 119-128, 1986-1987.
- COSTA, M. O., PAULON, N., DINIZ, N. C. 1994. Obtenção do mapa de erosão efetiva nas bacias dos rios Tietê e Pinheiros com utilização de informações digitais. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., Camboriú, 1994,. *Anais...* Camboriú: SBG.
- COUTINHO, R.Q. et al. 1990. Carta geotécnica da cidade de Recife. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., Salvador, 1990. *Anais ...* Salvador: ABGE/ABMS. v.1, p.429-440.
- CREPANI, E. *et al.* **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico.** São José dos Campos: Inpe, 1996. (INPE-6145-PUD/028).
- CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: Inpe, 2001. (INPE-8454-RPQ/722).
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas de MNT do Projeto SRTM para fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia.** São José dos Campos: Inpe, 2004. (INPE-11238-RPQ/761).
- CUNHA, M.A., FREITAS, C.G.L. de. 1991. Compartimentação geológico-geotécnica do Estado de São Paulo para aplicação em rodovias. *In:* SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo, 1991. *Atas...* São Paulo: SBG.
- DEARMAN, W.R., EYLES, N. 1982. An engineering geological map of the soils and rocks of the United Kingdom. *Bull IAEG*, Paris, n.25, pp.3-18.

- DEARMAN, W.R. & MATULA, M. 1976. Environmental aspects of engineering geological mapping. Bull. IAEG, Krefeld, n.14, pp. 141-146.
- DEARMAN, W.R. & STRACHAN, A. 1983. Engineering geological plans of Tyne and Wear County, N.E. England. Bull. IAEG, Paris, n.28, pp. 31-41.
- DEARMAN, W.R., 1991. Engineering Geological Mapping. British Library Cataloguing Publication Data. Butterworth & Heinemann, London, UK, 415p.
- DIAS, R. R. **Zoneamento ecológico-econômico no Tocantins: contribuição metodológica e processual para sua execução.** 2008. 191 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2008.
- DINIZ, N.C., CINTRA, J.P. 1997. Automated cartography for engineering geological maps. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 18./ INTERNATIONAL SCIENTIFIC ASSEMBLY IAG, Rio de Janeiro, 1997. Anais... Rio de Janeiro: SBC/IAG.
- DINIZ, N.C., PRANDINI, F.L, NAKAZAWA, V.A. 1993. Engineering-geological mapping as a subsidy to the planning and reordering of urban land use. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PROBLEMAS AMBIENTAIS DOS CENTROS URBANOS, 2., São Paulo, 1993. Anais... São Paulo: Biosfera. (ECO URBS'93)
- DINIZ, N.C. et al. 1997. Construção da base de dados geoambientais para multifinalidade: mapas digitais, multimídia e SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4., São Paulo, 1997. Atas... São Paulo: EPUSP.
- DINIZ, N.C., 1998. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2v.
- DINIZ N. C., SOUZA, N.M., Delgado, J.A.C. 2005. Mapeamento geoambiental e aplicação de geoindicadores: fundamentos para um sistema de dados georreferenciados brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais, 15 p.
- FORNASARI FILHO, N. et al. 1992. Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo: IPT. 165p. (IPT. Publicação, 1972; Boletim, 61).
- FREITAS, C.G.L. 2000. Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia. São Paulo, Universidade de São Paulo, 230 p.
- GUERRA, Antonio José Teixeira. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (Orgs.). **A questão ambiental: diferentes abordagens.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. p. 191-218.
- \_\_\_\_\_. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149-209.
- GUERRA, Antonio José Teixeira; MENDONÇA, Jane Karina Silva. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, Antonio Carlos; GUERRA, Antonio José Teixeira (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.225- 256.
- GUERRA, Antônio Teixeira; GUERRA, Antonio José Teixeira. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.
- GRANT, K. 1965. Terrain features of the Mt. Isa-Dajarra region and an assessment of their significance in relation to potential engineering land use. Austrália: CSIRO Soil Mechanics Section, p.3-110. (Technical Paper, 1).
- \_\_\_\_\_. 1970. Terrain Evaluation. A logical extension of engineering geology. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 1., Paris, 1970. Proceedings... Paris: IAEG, v.2, p.971-980.
- \_\_\_\_\_. 1975a. The PUCE Programme for terrain evaluation for engineering purposes I: principles. Austrália: Division of Applied Geomechanics. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. ( Technical Paper, 15).

- \_\_\_\_\_. 1975b. The PUCE Programme for terrain evaluation for engineering purposes; II: procedures for terrain classification. Austrália: Division of Applied Geomatematics. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. (Technical Paper, 19).
- GRANT, K., FINLAYSON, A. 1978. The application of terrain analysis to urban regional planning. In: INTERNATIONA CONGRESS OF THE IAEG, 3., Madrid, 1978. Proceedings... Madrid: IAEG. p.79-91.
- GRIFFITHS, J.S. & Stokes, M., 2008. Engineering Geomorphological input to ground models: an approach based on Earth systems. Quarterly Journal Of Engineering Geology And Hydrogeology, 41, 73-91.
- GRIFFITHS, J. S., Stead, D., Giles, D. P. & Stokes, M. 2010. Preliminary Report On IAEG Commission 22: Landscape Evolution And Engineering Geology. The Eleventh IAEG Congress, Auckland, NewZealand.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF THE ENGINEERING GEOLOGY - IAEG. 1976. Engineering geological maps: a guide to their preparation. Paris: Unesco Press. 79p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF THE ENGINEERING GEOLOGY - IAEG - COMMISSION ON ENGIN. GEOL. MAPPING. 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I: rock and soil materials. Bull. IAEG, Krefeld, nº 19, pp.364-371.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF THE ENGINEERING GEOLOGY - IAEG. 1981a. Recommended symbols for engineering geological mapping. Bull. IAEG, n.24, pp. 227-234.
- \_\_\_\_\_. - 1981b . Rock and soils description and classification for engineering geological mapping. Bul. IAEG, n.24, pp. 235-274.
- IAEG, 1992. Statutes of the International Association of Engineering Geology And the Environment. 132 Newsletter, No 19, Paris.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1978. Levantamentos dos condicionantes do meio físico e estabelecimento de critérios normativos para a ocupação urbana dos Morros de Santos e São Vicente (carta geotécnica). São Paulo. (IPT. Relatório, 11.599).
- \_\_\_\_\_. 1980. Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana.. São Paulo. (IPT. Monografias, 3).
- \_\_\_\_\_. 1984a. Carta geotécnica da Grande São Paulo. São Paulo. 13p. (IPT. Publicação, 1618; Comunicação Técnica, 350).
- \_\_\_\_\_.1984b. Levantamento geológico-geotécnico das áreas de encostas do município de Cubatão: carta geotécnica; diretrizes de obras para consolidação dos assentamentos habitacionais. São Paulo. (IPT. Relatório, 20.481).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1984c. Subsídios para o planejamento do uso do solo urbano para a recuperação de habitações subnormais e áreas degradadas na Grande São Paulo; carta geotécnica da Grande S. Paulo, escala 1:50.000. São Paulo. (IPT. Relatório, 19.817).
- \_\_\_\_\_.1985a. Planejamento de uso e ocupação do solo urbano e rural no Município de Itapevi, S.P: (carta geotécnica). São Paulo. (IPT. Relatório, 22.961).
- \_\_\_\_\_.1985b. Subsídios geotécnicos para planejamento urbano - Cartografia Geotécnica do Município de São Paulo, escala 1:25.000. São Paulo. (IPT. Relatório, 21.472).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT.1987a. Diagnóstico do abatimento do terreno em Cajamar, SP e definição de medidas e diretrizes para a resolução do problema; fase 2. São Paulo. 7v. (IPT. Relatório, 25.053).
- \_\_\_\_\_.1987b. Subsídios geológico-geotécnicos para o estabelecimento de critérios para a restauração da cobertura vegetal nas encostas da Serra

do Mar afetadas pela poluição atmosférica. 2º Relatório de Andamento. São Paulo. (IPT. Relatório, 25 402).

\_\_\_\_\_. 1988a. Estudo geotécnico dos principais mecanismos de instabilização da Serra do Mar. São Paulo. (IPT. Relatório, 25.957).

\_\_\_\_\_. 1988b. Programa Serra do Mar: carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande. São Paulo. (IPT. Relatório, 26.504).

\_\_\_\_\_. 1989. Carta geotécnica do Município de Guarujá, SP. São Paulo. (IPT. Relatório, 27 786).

\_\_\_\_\_. 1990a. Análise de Risco em favelas críticas do município de São Paulo. Coordenação técnica. São Paulo. (IPT. Relatório, 28 057).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1990b. Carta geotécnica de Campo Grande, MS. São Paulo. (IPT Relatório, 28710).

\_\_\_\_\_. 1991a. Carta geotécnica do município de Ubatuba, SP. São Paulo. 3v. (IPT. Relatório, 28 975).

\_\_\_\_\_. 1991b. Diretrizes para expansão urbana na região sudeste do município de Santo André, SP. São Paulo. (IPT. Relatório, 29 402).

\_\_\_\_\_. 1991c. Prevenção da erosão urbana e conservação de recursos hídricos: projeto piloto de Bauru e Rio Batalha. 1a fase. São Paulo. (IPT. Relatório, 29 789).

\_\_\_\_\_. 1991d. Apoio técnico à elaboração da carta geotécnica de Cuiabá. (IPT. Relatório, 29.033).

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991e. Ocupação de Encostas. São Paulo, 216 pp.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1993a. Assessoria técnica ao Projeto de Macrozoneamento do Litoral Norte, SP. São Paulo. (IPT. Relatório, 31.366).

\_\_\_\_\_. 1993b. Erosão e assoreamento nas bacias dos rios Tietê e Pinheiros na Região Metropolitana de São Paulo: diagnóstico e diretrizes para a solução integrada do problema. São Paulo. 4 v. (IPT. Relatório, 30.796).

\_\_\_\_\_. 1993c. Plano de redução e prevenção de riscos associados a movimentos de massa e inundações/enchentes para o município de Ilhabela, SP. São Paulo, 1993. (IPT. Relatório, 31.355).

\_\_\_\_\_. 1994. Carta geotécnica do Estado de São Paulo; escala 1:500.000. São Paulo. 2v. (IPT. Publicação, 2.089).

\_\_\_\_\_. 1995a. Carta de risco de erosão da área urbana de Botucatu, SP; escala 1:25.000. São Paulo. (IPT. Relatório, 32.369).

\_\_\_\_\_. 1995b. Subsídios técnicos para elaboração de um plano de desenvolvimento sustentável para o município de Itapeverica da Serra. São Paulo. 2v. (IPT. Relatório, 32.924).

\_\_\_\_\_. 1995c. Laboratório de Cartografia Geotécnica - LCG. Manual para garantia de qualidade. São Paulo: IPT. 3v.

\_\_\_\_\_. 1996a. Carta Geotécnica de São José dos Campos, SP; escala 1: 25.000. São Paulo,. 2v. (IPT. Relatório, 34.645).

\_\_\_\_\_. 1996b . Áreas de conflitos de uso da terra no município de Guaíra - SP. (IPT. Relatório 33.042).

\_\_\_\_\_. 1997a. Adequação e controle da mineração na bacia do Guarapiranga: carta de condicionantes físicos. (IPT Relatório 35.026).

\_\_\_\_\_. 1997b. Subsídios técnicos para o plano diretor de Mococa, São Paulo. 2v. São Paulo, (IPT. Relatório 35.476).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1997c. Mapa de erosão do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT/DAEE. Escala 1. 1.000.000.

\_\_\_\_\_. 1997d. Sistema de dados ambientais no Estado de São Paulo para atualização da carta geotécnica digital. São Paulo. 2v. (IPT. Relatório, 35.539).

- \_\_\_\_\_. 1997e. Subsídios técnicos para plano de controle preventivo e corretivo de erosão na área urbana do município de São José do Rio Preto, SP. São Paulo. IPT. Relatório, 35.285).
- \_\_\_\_\_. 1997f. Carta Geotécnica de Bertioga: escala 1:25:000. São Paulo. 2v. (IPT. Relatório 35.649).
- \_\_\_\_\_. 1997g. Cadastramento de rios de escorregamentos e concepção de obras de estabilização no núcleo de sub-moradias: Jardim São Camilo - Jundiá - SP. (IPT Relatório 34.146).
- \_\_\_\_\_. 1998. Subsídios técnicos para um Plano de Controle Preventivo de Erosão para a área urbana do município de Franca, SP. São Paulo. (IPT. Parecer Técnico, 7 149).
- IPT. 1999. Carta Geotécnica de Manaus. Parceria: IPT< FUA, CPRM, IMPLAN-Manaus. Relatório Técnico. Mapa e CD- Multimídia.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 2011. Banco de Dados de Mortes por Escorregamento. São Paulo.
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. 1990. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Sorocaba, SP; escala 1:50.000. São Paulo. (Publicação Interna).
- \_\_\_\_\_. 1991. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Itú, SP; escala 1:50.000. São Paulo. (Publicação Interna).
- \_\_\_\_\_. 1993. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas, SP; escala 1:50.000. São Paulo.
- \_\_\_\_\_. 1995. Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da Baía do Rio Piracicaba, SP; escala 1:50.000. São Paulo.
- \_\_\_\_\_. 1996. Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico do município de São Sebastião; escala 1:50.000. São Paulo.
- LOLLO, J.A.de. 1991. Mapeamento geotécnico da folha de Leme, SP: utilização da geomorfologia para caracterização preliminar das unidades geotécnicas. Dissertação. (Mestrado) EESC/USP, São Carlos. 2v..
- \_\_\_\_\_. 1996. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula Campinas. Tese (Doutorado) EESC/USP, São Carlos. 2v.
- MANDAI, P.R. 2012. Avaliação da Aptidão à Urbanização com Uso de Inferência Fuzzy em Dados Geomorfométricos - Subsídios para o Planejamento Territorial em torno do Anel Viário do Distrito Federal. Dissertação. (Mestrado). Instituto de Geociências. UnB, Brasília - DF. 139p.
- MATHEWSON, C. C., FONT, R. G. 1974. Geologic environment: forgotten aspects in the land use planning process. In: GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. Engineering geology: cases histories. Boulder. v.10, p.23-28.
- MATULA, M. 1976. Environmental aspects of eng. geological mapping. In: INTERNATIONAL GEOLOGIC CONGRESS, 25., Sydney, 1976.
- \_\_\_\_\_. 1978. Engineering-geological evaluation for region and urban development. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF IAEG, 2, Madrid, 1978. Anais...Madrid: IAEG. v.10, p.15-30.
- MATULA, M. 1979. Regional engineering geological evaluation for planning purposes. Bulletin IAEG, Krefeld, n.19, p. 18-24.
- MEIJERINK A. M. 1988. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. ITC Journal, p.23-44.
- MENDONÇA, F. B. 2012. Análise de perigo de movimentos gravitacionais de massa do talus do maciço de Itatiaia associado à implantação do trem de alta velocidade - TAV Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 191p.
- MENDONÇA, F. B., DINIZ, N. C., BAPTISTA, G. M. M. 2010. Análise da Vulnerabilidade do Terreno em um Trecho de Implantação do Trem de Alta Velocidade entre Rio de Janeiro e São Paulo: Identificação de Talus por MDE e Imagens CBERS 2B. In: SERFA 10 - Encontro de Usuários de Sensoriamento Remoto das Forças Armadas, Anais, p. 16.

- \_\_\_\_\_. 2011a. Movimento gravitacional de massa associado a um trecho de implantação do trem de alta velocidade entre Rio de Janeiro e São Paulo: identificação de depósito de tálus por meio de imagens CBERS 2B e SRTM. *In: XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais*, p. 7478-7485.
- \_\_\_\_\_. 2011b. Aplicação de filtros direcionais para a identificação da direção de movimentação de depósito de tálus, utilizando imagens CBERS 2B e dados da missão SRTM em trecho a ser cortado para a passagem da ferrovia do trem de alta velocidade. *In: 13° CBGE – 13° Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais*, 7p. CD.
- \_\_\_\_\_. 2012. Mapa de riscos de movimento gravitacional de massa, obtido por meio de inventário de cicatrizes de deslizamentos no trecho 4 do trem de alta velocidade brasileiro. (no prelo). *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*. p. 21.
- \_\_\_\_\_. 2012. Risco de deslizamento em trecho do trem de alta velocidade brasileiro. (no prelo). *Revista Luso Brasileira de Geotecnia*. p. 27.
- \_\_\_\_\_. 2012. Álgebra de mapas na geração de mapeamento de risco utilizando imagens do ADS80, uma aplicação no projeto do trem de alta velocidade brasileiro. *Revista Spectrum*. **15**. p. 6.
- MENDONÇA, F. B., DINIZ, N. C. 2012. Tálus landslide hazard assessment for a stretch of TAV based on scars inventory using high resolution ADS80 aerial images and GIS. *In: International Workshop on Extreme Rainfall Induced Landslides*. Rio de Janeiro. Atas. p. 20.
- MOREIRA, E.C. 1993. Uma análise da automação do processo de mapeamento geotécnico. *Dissertação (Mestrado)*. EESC/USP, São Carlos. 124p.
- MOREIRA, E.C., SOUZA, N.C.D.C. de, GUIDARRA JR., P. 1993. Uma aplicação: o sistema de processamento de mapas e imagens: MIPS em mapeamento geotécnico. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2./ CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4., São Paulo, 1993. Anais... São Paulo: EPUSP. p.593-608.*
- NAKAZAWA, V.A., PRANDINI, F.L., DINIZ, N.C. 1993. The environmental and legal restrainings and urban land use control. *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PROBLEMAS AMBIENTAIS DOS CENTROS URBANOS, 2., São Paulo, 1993. Anais... São Paulo: Biosfera. (ECO URBS'93).*
- NAKAZAWA, V.A. et al. 1991. Cartografia geotécnica: a aplicação como pressuposto. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, São Paulo, 1991. Atas... São Paulo: SBG.*
- NAKAZAWA, V. A; FREITAS, C.G.L.; DINIZ, N. C. 1994. Carta geotécnica do Estado de São Paulo; escala 1:500.000. São Paulo. 2v. (IPT. Publicação, 2.089).
- NAKAZAWA, Valdir Akihiko; PRANDINI, Fernando Luiz; DINIZ, Nórís Costa. Subsídências colapsos de solo em áreas urbanas. *In: BITAR, Omar Yazbek. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995, p.101-133.
- NOGUEIRA, F.R. 2002 Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal, Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro. 266p.
- PARIZI, C.C. 2003. Metodologia Para avaliação de áreas para implantação de empreendimentos habitacionais de interesse social baseada em análise multi-critério e cartografia geotécnica. *Dissertação De Mestrado, IPT, São Paulo/SP.*
- PARIZI, C.C. & DINIZ, N.C. 2004. Metodologia Para avaliação de áreas para a implantação de habitação de interesse social. *In: Pejon, O. & Zuquete, L.V. (Eds.) Cartografia Geotecnica E Geoambiental: Conhecimento do meio fisico: base para a sustentabilidade*. São Carlos, ABGE/UFSCAR, p. 57--62.
- PONÇANO, W.L. et al. 1979. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, Rio Claro, 1979. Atas... Rio Claro: SBG. v.2, p.253-262.*

- PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, v.1, 94p (Publicação IPT n° 1183, Monografias 5).
- PRANDINI, F.L., GUIDICINI, G., GREHS, S.A. 1974. Geologia ambiental ou de planejamento?. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre
- PRANDINI, F.L. 1974. Geological-geotechnical factors conditioning environmental degradation. In: International Congress of the International Association of Engineering Geology, 2, São Paulo, 1974. *Proc...*, São Paulo, IAEG. V3, p. 168-175. e: SBG. v.7, p.273-290.
- PRANDINI, F.L. 1976. O Brasil e a geologia no planejamento territorial e urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1., São Paulo, 1976. Anais... São Paulo: ABGE. v.3., p.354-370.
- PRANDINI, F.L.(Coord.) et al. 1978. Uma carta geotécnica dos terrenos adjacentes ao canal do Rio Tietê: de Osasco a Guarulhos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2., São Paulo, 1978. Anais.... São Paulo: ABGE, v.1, Tema 2, p. 281-296.
- PRANDINI, F.L.(Coord.) et al. 1979. Metodologia da carta geotécnica aplicada às áreas marginais do canal do Rio Tietê: de Osasco a Guarulhos. In: SIMPÓSIO DE CARTOGRAFIA, 9., Curitiba, 1979. Anais.... Curitiba: SBC.
- PRANDINI, F.L.(Coord.) et al. 1980. Carta geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. São Paulo, IPT. 31p. (IPT, Monografias, 3).
- PRANDINI, F.L., NAKAZAWA, V.A., FERNANDES, A. 1990. As características e fenômenos do meio-físico de interesse para elaboração de Plano Diretor Municipal: o papel da geologia de engenharia. In: SEMINÁRIO SOBRE O PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, São Paulo, 1990. Anais... São Paulo: PMSP.
- PRANDINI, F.L., NAKAZAWA, V.A., CAMPANÁRIO, M.A. 1992. Cartografia geotécnica da grande São Paulo. In: SEMINÁRIO DE PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, RMSP, São Paulo, 1992. Anais... São Paulo: ABGE/ABAS/SBG-SP. p.241-252.
- PRANDINI, F.L., NAKAZAWA, V. A. 1993. Parcelamento de solos urbanos: algumas lições nas áreas com restrições de uso. In: FÓRUM NACIONAL DE GEOLOGIA DE MEIOS URBANOS, 1., Porto Alegre, 1993. Anais... Porto Alegre. p.92-104.
- \_\_\_\_\_. 1994. A superação dos desafios ambientais das cidades; novos conceitos e políticas. *Revista do Instituto de Engenharia*, São Paulo. n.501, p.329-336.
- \_\_\_\_\_. 1994. Desafios ambientais urbanos: novas posturas e oportunidades profissionais. *Revista Politécnica*, n.212/213, jan./jun., p.62-65.
- PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L. & DINIZ, N.C. 1995. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: O.Y. Bitar (coord.). 1995. *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. ABGE/IPTDIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente. p.187-202.
- ROMÃO, P. A, 1995. Mapeamento Geotécnico da Região de Águas Claras (DF): Utilização de Recursos de Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil E Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF.
- ROSS, J.L.S.. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.
- \_\_\_\_\_. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 4. ed. São Paulo: Contexto, 1997.
- SANTOS, R, 2008. Diálogos Geológicos: É preciso conversar mais com a Terra. Editora Nome da Rosa. ISBN: 978-85-6872-45-7. 184 p.

- SANTOS FILHO, P. 2000. Uso de Geoprocessamento na distribuição espacial das características e classes geotécnicas de solos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 179p.
- SILVA, S. F. & PEJON O. J. 2004. Utilização de inferência de lógica Fuzzy na elaboração de documentos cartográficos In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos, SP. **Anais**. São Carlos, SP: SUPREMA, 7p. v. 1.
- SILVA, C. P. L.. 2007. Cartografia Geotécnica de Grande Escala: Estudo de Caso Brasília - área tombada pela UNESCO. Dissertação De Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 106 p.
- SOBREIRA, F.S. 2001. Suscetibilidade a processos geológicos e suas consequências na área urbana de Mariana, MG. Geo.Br. Disponível Em [HTTP://www.dageo.ufop.br/geobr](http://www.dageo.ufop.br/geobr).
- SOUZA, N.C.D.C. de. 1992. Mapeamento geotécnico regional da Folha de Aguaí: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração. Dissertação (Mestrado) EESC/USP, São Carlos. 2v.
- SOUZA, N.C.D.C.de, ZUQUETTE, L.V. 1992. Mapeamento Geotécnico com Base em Perfis Típicos de Alteração para Caracterização de Unidades de Terreno. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, São Paulo, 1991. Atas... São Paulo: SBG.
- SOUZA, N.C.DINIZ.C.de, ZUQUETTE, L.V. 1993. Critérios de avaliação geotécnica de unidades de terreno no planejamento urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2., Poços de Caldas, 1993. Anais... Poço de Caldas: ABGE.
- SOUZA, N. M. 1998. Uso de lógica difusa em cartografia geotécnica In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis, SC. **Anais**. Florianópolis, SC, 13p. v. 1.
- TOMINAGA, L., SANTORO, J., AMARAL, R. Desastres Naturais: conhecer para prevenir. 2009. IG/SMA. São Paulo, SP. 197 p.
- UNDRO – United Nations Disaster Relief Office. UNDRO's approach to disaster mitigation. *UNDRO News*, jan.-febr.1991. Geneva: Office of the United Nations Disasters Relief Co-ordinator. 20p., 1991.
- VARNES, D. J. 1974. The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. Washington: USGS. 48p. (Professional Paper 837)
- VEDOVELLO, R. 1993. Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.
- VEDOVELLO, R. 2000. Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação - UBCs, Tese de Doutorado . Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro.
- VERSTAPPEN, H.Th., ZUIDAM, R.A.Van. 1975. The ITC system of geomorphological mapping. s.l. ITC VII-2 (Textbook).
- VERSTAPPEN, H.Th. 1983. Applied geomorphology. Amsterdam: Elsevier. 437p. il. (geomorphological Surveys for Environmental Development).
- 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 de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, 149 p.
- ZUQUETTE, L.V. 1981. Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos. Dissertação (Mestrado) EESC, São Carlos. 2v.
- \_\_\_\_\_. 1985. Mapeamento geotécnico: estado da arte. São Carlos: EESC/USP. (Seminário apresentado na Disciplina SGS-833).

\_\_\_\_\_. 1987. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. Tese (Doutorado) EESC/USP, São Carlos. 4v.

\_\_\_\_\_. 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. Tese (Livre-Docência) EESC/USP, São Carlos. 2v..

ZUQUETTE, L.V., GANDOLFI, N. 1990. Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica. *Geociências*, v.9, p.55-66.

ZUQUETTE, L.V., NAKAZAWA, V.A. 1998. Cartas de geologia de engenharia. In: OLIVEIRA,

A.M.dos S., BRITO, S.N.A. Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE. Cap.17, p.283-298.

ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. 2004. Cartografia Geotécnica. Oficina de Textos, São Paulo, 190 p.

ZUQUETTE, L.V., PEJON, O.J., SINELLI, O. 1994. Engineering geological zoning of Sao Paulo State, Brazil, scale 1:500.000. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 7., Lisboa, 1994. Proceedings... Rotterdam: Balkema. v 2, p.1187-1195.

ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI G. 2004. Cartografia Geotécnica. Oficina de Textos, São Paulo, 190 p.



# CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA APLICADA AO PLANEJAMENTO URBANO



FREDERICO GARCIA SOBREIRA

*Universidade Federal de Ouro Preto – sobreira@degeo.ufop.br*

LEONARDO ANDRADE DE SOUZA

*Zemlya Consultoria e Serviços – leonardo@zemlya.com.br*

## RESUMO ABSTRACT

A cartografia geotécnica começou a ser prática no Brasil a partir da década de 1970, se consolidando na década de 1980, com o desenvolvimento e aplicação de metodologias com vários objetivos, enfoques e escalas de trabalho, praticadas por universidades e instituições de pesquisa. Com o desenvolvimento de tecnologias de processamento eletrônico de dados cartográficos, que possibilitou a representação e o armazenamento de dados através de um ambiente computacional, ocorreu paralelamente o desenvolvimento dos sistemas de informação geográficas (SIG), tornando-se possível capturar, gerenciar, manipular e analisar uma grande quantidade de dados de fontes diversas, referenciados espacialmente, reestruturando-os e apresentando-os para a solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento. A agilidade nas análises e a geração de produtos derivados fomentaram a expansão da cartografia geotécnica e os mais variados produtos surgiram, com aplicação diversificada (planejamento urbano, planejamento ambiental, ordenamento territorial, gestão territorial, gerenciamento de obras civis, estudos de processos geodinâmicos, zoneamentos ambientais dirigidos, etc.). Este trabalho aborda as práticas de cartografia geotécnica com enfoque no planejamento urbano, partindo da conceituação de suscetibilidades, aptidão para urbanização e riscos geológico-geotécnicos, propondo a seguir procedimentos para a elaboração de cada produto cartográfico, seguindo a lógica do detalhamento progressivo. São discutidas as questões de escalas de mapeamento e apresentação, dados e informações básicos mínimos necessários para cada nível de mapeamento, a importância da correlação entre os tipos de produtos a serem gerados e o objeto do estudo, em termos de aplicação e utilização, considerando o Estatuto das Cidades que cria e regulamenta instrumentos que visam assegurar a função social da propriedade e da cidade, bem como

## GEOTECHNICAL CARTOGRAPHY APPLIED TO URBAN PLANNING

Geotechnical cartography began to be applied in Brazil from the 1970s and gained strength in the 1980s with the development and application of methodologies with several objectives, approaches and work schedules, practiced by universities and research institutions. The development of technologies for the electronic processing of cartographic data, which allow the representation and storage of information through a computing environment, was followed by the development of geographic information systems (GIS), making it possible to capture, manage, use and analyze large amounts of data from many sources, spatially referenced, restructuring them and presenting them to solve complex planning and management problems. The agility in the analysis and generation of derived products encouraged the expansion of geotechnical cartography and numerous products of diversified applications have emerged (urban planning, environmental planning, land planning, land management, management of civil works, studies of geodynamic processes, environmental zoning, etc.). This work addresses geotechnical cartographic practices with a focus on urban planning, based on the concept of susceptibility, suitability for urbanization and geological and geotechnical risks, proposing procedures for the elaboration of each cartographic product, according to the progressive detailing logics. The following issues are discussed: mapping and presentation scales, data and minimum basic information required for each mapping level, the importance and correlation between the types of products to be generated and the study object in terms of implementation and use, considering the Ordinance of Cities that creates and regulates instruments aimed

a regulação e controle do uso e ocupação do solo urbano e rural, sem entretanto aprofundar a discussão sobre metodologias de mapeamento, visto que estas são condicionadas por fatores técnicos, econômicos e de tempo disponível para execução. Pretende-se com esta proposição fomentar a discussão em torno da temática, buscando uma uniformização dos procedimentos de forma que estes estudos sejam mais facilmente replicáveis e exequíveis pelas municipalidades e governos estaduais, instâncias públicas responsáveis pelo planejamento urbano.

**Palavras-chave:** Cartografia geotécnica, suscetibilidade, risco geológico, planejamento urbano

at ensuring the social function of property and the city, as well as the regulation and control of use and occupation of urban and rural land, but without further discussion on mapping methodologies, since they are guided by technical and economic factors and time available for execution. This proposal is intended to encourage discussions on the subject, seeking a standardization of procedures so that these studies are more easily replicable and possible to be implemented by municipalities and state governments, which are public authorities responsible for urban planning.

**Keywords:** Cartography, susceptibility, geological risk, urban planning

## INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas houve um grande avanço na cartografia geotécnica brasileira, com o desenvolvimento de inúmeros trabalhos e muitos procedimentos metodológicos e surgimento de centros produtores deste tipo de cartografia, tais como a Universidade Federal do Rio de Janeiro, EE-USP São Carlos, Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dentre outros, cada qual seguindo linhas metodológicas distintas (Zuquette & Nakasawa 1998), que por sua vez geraram outros pólos de produção (UnB, Instituto Geológico do Estado de São Paulo, Universidade Federal de Santa Catarina, etc.). Com o desenvolvimento tecnológico, principalmente na área de informática, pelo surgimento da cartografia digital e dos sistemas de informações geográficas (SIG), nos últimos 15 anos tornou-se mais ágil e rápida a geração de mapas e cartas, ficando facilitados enormemente os processos de integração de dados e a atualização dos produtos cartográficos, à medida que novas informações são geradas ou adquiridas, assim como a reprodução das cartas e mapas em escalas diversas e a custos baixos.

A profusão de trabalhos, geralmente produtos de pesquisas acadêmicas e quase sempre desenvolvendo, testando ou adaptando procedimentos metodológicos, possibilitou o mapeamento de um considerável número de cidades e regiões (entendendo estas como localidades isoladas, bairros, unidades administrativas, bacias hidrográficas, etc.), como pode ser comprovado pelos

registros do Banco de Dados sobre Cartografia Geotécnica e Geoambiental do Brasil ([www.abge.com.br](http://www.abge.com.br)). Estes trabalhos geralmente estão vinculados aos termos cartografia geotécnica ou cartografia geoambiental, mas não há um consenso geral entre pesquisadores e profissionais da área sobre as definições destes termos, que muitas vezes acabam sendo utilizados inapropriadamente.

Por outro lado, a diversidade de objetivos e metodologias trouxe consigo inúmeros termos e produtos, uns mais comuns tais como suscetibilidade, risco, aptidão, com seus respectivos mapas e cartas, outros menos frequentes, como fragilidade, vulnerabilidade, sensibilidade, predisponência, restrições, etc., além da grande variabilidade das escalas de mapeamento, esta consequência da limitação dos produtos cartográficos básicos existentes em cada local, que muitas vezes são determinantes dos procedimentos de análise e integração de dados. Estes mapas e cartas geotécnicos e geoambientais enfocam uma gama variada de usos do meio físico, tais como uso urbano (áreas não ocupadas, áreas ocupadas, áreas com ausência ou deficiência de infra-estrutura e áreas com infra-estrutura instalada), implantação de obras civis (rodovias, linhas de transmissão, dutovias, barragens e reservatórios, canais, hidrovias, obras marítimas etc.), uso agrícola, exploração de recursos minerais e abordam estudos diversos sobre processos geodinâmicos (movimentos em encostas, erosão, inundação, subsidências, etc.), porém, não existe um padrão comum ou normatização dos trabalhos e dos procedimentos executados na sua realização, assim como das escalas de trabalho e

apresentação final. No entanto, no atual estado de desenvolvimento da cartografia geotécnica no Brasil, reconhece-se a dificuldade, ou mesmo a impossibilidade desta padronização, por diversos motivos, cuja análise foge do escopo deste trabalho.

É extremamente meritosa a busca de solução para questões como dimensão das áreas de mapeamento, diferenças de escalas das informações a serem integradas, disponibilidades de recursos e de informações básicas e tempo para execução dos trabalhos, mas, neste contexto, muitas vezes conceitos são confundidos ou utilizados incorretamente, fontes cartográficas básicas (topografia e suas derivações, geomorfologia, geologia, pedologia, uso e ocupação, etc.) com escalas muito distintas, por diversas vezes incompatíveis, são integradas indiscriminadamente e os produtos gerados trazem informações aquém ou além do tecnicamente possível. Estes problemas são de difícil resolução, mas espera-se que com a evolução do estado da arte da cartografia geotécnica e geoambiental no país e as melhorias na geração de dados básicos, cartográficos ou não, caminhe-se para um ponto de concordância em um futuro próximo.

Desta forma, este ensaio busca enfatizar a cartografia geotécnica enfocando o planejamento urbano, tanto para as porções territoriais ainda não ocupadas e sem infra-estrutura instalada, quanto para os locais já ocupados com infra-estrutura urbana parcial ou total, correlacionando os mesmos com os processos geodinâmicos passíveis de serem deflagrados naturalmente, ou por ação/intervenção antrópica, e as características do meio ambiente *físico, biótico e antrópico a ser ocupado*. Não se pretende definir inexoravelmente conceitos e terminologias nem dar um caráter dogmático às proposições aqui apresentadas, mas simplesmente fomentar a discussão sobre as questões ligadas ao meio físico e sua ocupação por áreas urbanas, buscando um avanço no caminho até agora seguido e uma futura uniformização de procedimentos de mapeamento, das fontes primárias e secundárias básicas para as análises e dos produtos gerados, considerando principalmente os usuários finais, gestores e técnicos de instâncias públicas (municipalidades e governos estaduais) responsáveis pelo planejamento urbano.

## TERMOS E CONCEITOS ADOTADOS

O termo cartografia geotécnica é empregado de uma forma genérica para aqueles produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo (Prandini *et al.* 1995) ou que busquem avaliar e retratar as características dos componentes e os comportamentos do meio físico frente aos diferentes tipos de ocupação, avaliando suas limitações e seus potenciais (Zuquette 1993). Cerri (1990) afirma que as cartas geotécnicas devem mostrar a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos e suas propriedades geológico-geotécnicas, as formas de relevo e a dinâmica dos principais processos atuantes e o reflexo destes (naturais e induzidos) nas formas do uso e ocupação do solo. Freitas (2000) considera “a carta geotécnica como produto resultante da necessidade de caracterização dos terrenos, comprometido com uma intervenção ou solução para uso e ocupação do solo”, levando em conta atributos ou parâmetros de seus componentes físicos, os quais induzem ou condicionam o desenvolvimento de processos e fenômenos responsáveis pela dinâmica da crosta terrestre.

Cerri (1990) classifica as cartas geotécnicas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco. Bittar *et al.* (1992) defendem a subdivisão em cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico. Prandini *et al.* (1995) e Zaine (2000) classificam as cartas geotécnicas em cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros. Por outro lado, segundo Zaine (2000), “embora haja uma diversidade de termos empregados para denominar os diferentes tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos, parece haver uma certa similaridade entre os tipos de documentos produzidos”.

Para Freitas (2000), a carta geotécnica é um instrumento voltado a aplicações nas diferentes solicitações do homem na ocupação do ambiente e deve estar sempre comprometida com uma intervenção ou solução, buscando-se permanentemente um sentido para sua elaboração, calcado em sua aplicação, ou seja, “mudam-se os objetivos; pode-se, então, mudar o método de abordagem para sua elaboração”.

A partir das conceituações acima descritas, entende-se que cartas geotécnicas são os produtos cartográficos que retratam a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos (residuais e transportados), considerando suas características mecânicas e hidráulicas no contexto do meio físico (formas do relevo, geodinâmica externa – processos atuantes, uso e ocupação do solo), com o intuito de se definir as limitações, potencialidades e necessidades de intervenções para a consolidação do uso urbano e rural.

Considerando a importância de correlacionar os tipos de produtos a serem gerados e o objeto do estudo, em termos de aplicação e utilização, e com o intuito de evitar o número elevado de classificações (nomes de cartas e de unidades), nas explicações que se seguem serão adotados os termos cartas geotécnicas de suscetibilidades, cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e cartas geotécnicas de risco geológico, reconhecendo que cada uma delas tem determinadas especificações quanto à escala de mapeamento, aos dados básicos de entrada para sua elaboração, à forma de representação e, principalmente, aos objetivos de sua aplicação no contexto do planejamento urbano.

Entende-se por suscetibilidade a potencialidade de processos geológicos (movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões, assoreamento, subsidências e colapsos, processos costeiros, sismos induzidos, etc.) causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas. Neste caso, a possibilidade de ocorrência de processos geodinâmicos está condicionada pela predisponência natural do meio físico ao seu desenvolvimento, podendo em alguns casos ter como um elemento adicional as práticas de uso e ocupação. Assim, estudos de suscetibilidade destacam um ou mais fenômenos naturais e o comportamento dos terrenos frente ao uso do solo pretendido. Nos estudos de suscetibilidade devem ser avaliados os processos que podem ocorrer em áreas mais abrangentes e com agentes deflagradores de maior magnitude, independentemente da ocupação destas áreas, buscando avaliações mais gerais dos terrenos quanto ao seu comportamento frente aos processos envolvidos e representando os resultados em cartas. Têm caráter quase sempre qualitativo e são

mais eficazes no planejamento em um nível mais macro, buscando indicar as áreas mais propícias para os diversos usos e ocupações, assim como as restrições existentes nos demais locais. Zuquette & Gandolfi (2004) denominam os produtos cartográficos destas análises de carta de eventos e consideram que, uma vez determinadas a intensidade e probabilidade de ocorrência dos processos acima de um limite crítico pode-se proceder a análise dos perigos (*hazard*) ou eventos perigosos naturais em um determinado intervalo de tempo.

A aptidão à urbanização pode ser definida como a capacidade dos terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança. Sua análise parte do mapeamento, caracterização e integração de atributos do meio físico que condicionam o comportamento deste frente às solicitações existentes ou a serem impostas (implantação de infra-estrutura e acesso a serviços urbanos, melhorias habitacionais, reparcelamento do solo, consolidações geotécnicas, regularização fundiária e programas de desenvolvimento comunitário, etc.). As cartas geotécnicas de aptidão devem sempre considerar que será necessária uma abordagem integrada dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental (aptidão à urbanização), jurídico-legal e socioeconômico-organizativo das áreas alvo das análises e para tal, os estudos com estes objetivos devem ser feitos em escala de detalhe e com suporte de dados quantitativos quando necessário. O resultado destes estudos deve estar representado cartograficamente de forma direta para os usuários (públicos e privados), indicando as potencialidades e restrições das áreas no perímetro urbano dos municípios e em zonas de futura ocupação quanto à urbanização. A localização de implantação de estruturas ligadas às cidades como aterros sanitários, distritos industriais, cemitérios, etc. pode ser analisada a partir de estudos técnicos específicos, não sendo necessária sua representação nas cartas de aptidão urbana.

Risco geológico pode ser definido como uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzido ou não (Cerri & Amaral 1998), ou seja, é a probabilidade de um evento provocar perdas ou danos na

área que é potencialmente afetada pelo processo geodinâmico. A esta análise se junta a vulnerabilidade dos elementos afetados, relacionada principalmente ao padrão construtivo no caso de áreas urbanas.

O risco (**R**) é tido como uma condição latente ou potencial e a determinação do seu grau está relacionado à probabilidade de ocorrência de um evento perigoso (**A**) e dos níveis de vulnerabilidade (**V**) dos elementos expostos existentes. Nogueira (2002) propõe que se agregue à expressão a existência de algum gerenciamento do problema ( $g^{-1}$ ). Pode-se então se expressar o risco (**R**) da seguinte forma:

$$R = P (fA) \times C (fV) \times g^{-1}$$

Ou seja, o risco (**R**) é o produto entre a probabilidade (**P**) de ocorrer um fenômeno físico (**A**) com previsão de local, intervalo de tempo, dimensão, etc., e os danos ou consequências (**C**), que são função da vulnerabilidade (**V**) das pessoas ou bens, o que pode ser modificado pelo grau de gerenciamento ( $g^{-1}$ ).

Na avaliação da vulnerabilidade consideram-se as possibilidades técnicas e socioeconômicas de prevenir ou mitigar os vários efeitos destrutivos do fenômeno. O grau de organização e coesão interna das comunidades em risco, considerando sua capacidade de prevenir, mitigar ou responder às situações de desastre, pode ser denominado de vulnerabilidade social.

Diante dos conceitos apresentados, é possível perceber que o risco geológico em áreas urbanas não depende apenas das características mecânicas e hidráulicas dos materiais envolvidos nos processos geodinâmicos, da morfologia das encostas ou do regime pluviométrico da estação chuvosa. Está diretamente relacionado à forma de ocupação, tanto em encostas como em planícies, e à conscientização da população envolvida no que tange à alteração da geometria das encostas e outras intervenções sem critérios técnicos. A ocupação de áreas geologicamente instáveis, a proximidade de moradias da base ou crista de encostas; a construção sobre solos transportados; a construção no interior e nas bordas de feições cársticas e nas margens de corpos d'água; à deposição inadequada de lixo e o lançamento de águas servidas e o plantio de espécies inadequadas são exemplos

de ações antrópicas que podem deflagrar ou potencializar eventos ou maximizar os danos relacionados a um acidente.

## CARTAS DE SUSCETIBILIDADE, APTIDÃO À URBANIZAÇÃO E DE RISCOS

Cerri *et al.* (1996) propuseram o método do detalhamento progressivo com o desenvolvimento do mapeamento geológico-geotécnico em três grandes etapas, ou seja, em fases sucessivas, de modo que cada fase determina os temas técnicos e o nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente. Zaine (2000) denominou as etapas como: geral, com escala entre 1:50.000 e 1:25.000 e abordando principalmente a caracterização do meio físico; intermediária, em escala entre 1:25.000 e 1:10.000 em áreas de adensamento e/ou de expansão urbana, selecionadas a partir do mapa geológico-geotécnico regional e; de detalhe, com base na caracterização do meio físico geológico e na identificação de eventuais problemas geológico-geotécnicos selecionados na escala 1:10.000, a partir de estudos específicos, que, se necessário, podem envolver a confecção de mapas elaborados em escalas maiores que 1:5.000, uma vez que buscam dar suporte a projetos de obras de engenharia para sanar problemas já instalados ou para a implantação de novos empreendimentos.

O modelo do detalhamento progressivo pode ser seguido em práticas de planejamento e ordenamento urbano, com os níveis hierárquicos representados pela suscetibilidade (geral), aptidão à urbanização (semidetalhe ou intermediário) e risco (detalhe). No entanto, a partir das análises de inúmeros estudos realizados ao longo do país e os respectivos produtos gerados nestes, propõe-se que para que se alcance resultados com embasamento técnico e que possam ser replicáveis em outras localidades, as escalas sejam maiores em todos os três níveis. Para tal deve-se sempre considerar os instrumentos de planejamento criados e regulamentados na Lei 10.257 de 10 de julho de 2001 (Estatuto das Cidades) que regulamenta o capítulo "Política Urbana" da Constituição Federal, visando assegurar a função social da propriedade e da cidade, e a regulação e controle do uso e ocupação do solo urbano e rural.

Assim, para cartografia de suscetibilidades a processos geológicos considera-se que escalas menores que 1:25.000 não possuem precisão gráfica para elaboração de modelos (digitais ou numéricos) e trazem um grau de incerteza maior quanto à delimitação das unidades e representação de processos pontuais, considerando que alguns destes não podem ser caracterizados, como é o caso da queda e rolamento de blocos rochosos, entre outros. As análises de aptidão à urbanização são muito mais precisas quando representadas na escala 1:5.000 e maiores, mas podem em alguns casos

ter escalas de até 1:10.000. Neste nível, deve ser grande o rigor na representação dos limites das unidades e dos processos potenciais ou ocorrentes. No nível de detalhe, análise de riscos, a menor escala admissível é de 1:2.000, pois neste caso o estudo abrange pequenas áreas e deve-se trabalhar buscando soluções para as situações de risco num nível conceitual ou, se possível de suporte a projetos (básico e executivo). O Quadro 1 sintetiza os níveis de detalhamento das cartas geotécnicas com a aplicação no planejamento urbano.

**Quadro 1** – Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano – escalas e processos mapeáveis.

Produto	Escalas de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiro.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Esta sequência de análises seria ideal para o planejamento de uma cidade nova, em local desocupado, mas esta não é a realidade brasileira, onde as cidades já estão implantadas, não raro em áreas de suscetibilidade a processos geodinâmicos, na maioria das vezes caracterizando situações de risco. Desta forma, estes níveis hierárquicos de estudo podem ser desenvolvidos independentemente, segundo as necessidades mais prementes dos municípios, tanto em termos emergenciais como no planejamento e prevenção de problemas de natureza geológico-geotécnica.

Assim como variam as escalas dos níveis hierárquicos, os objetivos destes estudos também apontam para níveis cada vez mais de detalhe. Cartas de suscetibilidade apontam áreas adequadas e com restrições à ocupação e são úteis no planejamento regional, servindo não só para fins de ocupação urbana, mas também para outros usos, pelo menos em uma análise preliminar. Devem englobar maiores regiões e são úteis

em abordagens mais gerais. Embora tenham caráter orientativo em decorrência da sua escala, as cartas de suscetibilidade podem subsidiar importantes instrumentos de planejamento tais como: os planos diretores e suas respectivas revisões, planos de ordenamento territorial, planos metropolitanos, zoneamentos ambientais, lei de uso e ocupação do solo, gestão de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológico-econômicos, etc. Cartas de aptidão à urbanização têm detalhe suficiente para embasar instrumentos como leis de uso e ocupação do solo ou mesmo planos diretores, em seus aspectos mais detalhados mas, principalmente, devem dar suporte aos projetos de urbanização e consolidação urbana dos municípios e podem estar associadas à lei de tributação de imóveis, outorga onerosa, utilização compulsória, planos de desenvolvimento local integrado, planos globais específicos – Prefeitura de Belo Horizonte, Favela-bairro, agora denominado Plano Municipal de Integração de Assentamentos precários

- Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Morar Carioca - Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Planos de Intervenção de Interesse Social - Prefeitura de Contagem - MG, Projeto Terra - Prefeitura Municipal de Vitória, Planos de Regularização Fundiária, Planos Locais de Habitação de Interesse Social). As cartas de risco buscam a mitigação ou erradicação das situações de risco em curto prazo e a elas devem também estar associadas soluções de engenharia, intervenções estruturais ou não estruturais subsidiando instrumentos de planejamento e gestão de risco tais como planos municipais de redução de risco geológico, planos de contingência e planos preventivos de defesa civil e sistemas de alerta/alarme).

## CARTAS GEOTÉCNICAS DE SUSCETIBILIDADE

No caso do Brasil, vários são os processos geodinâmicos que limitam a ocupação territorial, porém alguns são decorrentes de condições geológicas ou pedológicas locais específicas, como no caso de subsidências (associados a terrenos cársticos) ou colapsividade de solos, enquanto outros são condicionados pelas práticas de uso e manejo do solo, como no caso dos processos erosivos acelerados e alagamentos em áreas urbanas. Dentre os fenômenos geológicos que mais danos e prejuízos causam ao país e à população, destacam-se como principais as inundações/enchentes e os movimentos em encostas de diversos tipos (escorregamentos, rastejo, queda de blocos, sendo o principal deles o escorregamento translacional raso). Eventos recentes associados a episódios pluviométricos de grande magnitude, como no Vale do Itajaí, em Santa Catarina, região serrana do Rio de Janeiro ou Cachoeiro do Itapemirim, no Espírito Santo, mostraram que o processo de corridas de massa e fluxo de detritos pode ainda ser mais catastrófico. Estes processos devem ser o foco de programas institucionais mais amplos de prevenção e ordenamento territorial e a eles se refere a presente proposição de cartografia geotécnica de suscetibilidades. Processos condicionados por aspectos geológicos e pedológicos específicos ou pelo uso inadequado do meio físico devem ser analisados também de forma específica e direcionada, não estando enquadrados no escopo deste trabalho.

A tradução cartográfica da disposição dos terrenos, conforme suas condições de desenvolver determinados processos resulta na Carta Geotécnica de Suscetibilidade, ou seja, aquela que reflete a variação (em forma e grau) da capacidade dos terrenos em desenvolver determinado fenômeno geológico. A delimitação cartográfica se faz a partir do conhecimento dos mecanismos dos processos considerados e das características do meio físico condicionantes e indutoras de seu desenvolvimento (Freitas 2000). Entretanto algumas limitações devem ser consideradas na geração destes documentos, para que se tenha uma maior adequabilidade dos produtos, destacando entre elas:

- Para que realmente sejam efetivas, as cartas de suscetibilidade para o planejamento urbano devem ser elaboradas em escalas entre 1:15.000 e 1:25.000 e poucos são os municípios que têm levantamentos planialtimétricos nestas escalas. Escalas menores que 1:25.000 não têm precisão gráfica para elaboração de modelos (digitais ou numéricos) e a utilização de cartas topográficas em escalas não adequadas (1:50.000 ou menores) não possibilita uma boa qualidade dos dados derivados (declividade, análises morfométricas - curvatura das encostas e concentração defluxo) e trazem um grau de incerteza maior na delimitação das unidades e processos, podendo ampliar os limites das áreas com potencial de deflagração de processos geodinâmicos (faixas com suscetibilidade à inundação, por exemplo). Nestas escalas também fica impossibilitada a análise e identificação de processos geodinâmicos específicos, como rastejos, queda e o rolamento de blocos rochosos, entre outros. Existe, hoje, a possibilidade de geração de informações cartográficas altimétricas a partir de imagens orbitais (*imagem de radar* interferométrico - SRTM, etc.). Embora este campo ainda tenha que avançar muito para se obter a confiabilidade de uma carta topográfica convencional, estas técnicas são atualmente a forma mais econômica e rápida para a obtenção de bases planialtimétricas de mais detalhe.
- A informação geomorfológica que de forma geral é obtida a partir dos mapas topográficos e interpretação de fotografias aéreas, com posterior validação em campo, também depende da escala da base topográfica para a definição de suas unidades.

- Os mapas geológicos existentes no Brasil têm escalas geralmente 1:50.000, 1:100.000 ou menores. Esta informação deve ser traduzida em mapas litoestruturais ou, caso não existam bases em escalas adequadas, devem ser elaborados pelo menos esboços da geologia, com ênfase nas estruturas geológicas.
- Atualmente a informação básica menos precisa e de maior dificuldade de interpretação refere-se ao mapeamento e representação da cobertura de materiais inconsolidados (solos residuais, solos transportados, depósitos de cobertura antrópicos), já que nos mapas geológicos existentes estas análises não são consideradas. Os mapas pedológicos podem ser reinterpretados de forma a embasarem um levantamento de coberturas naturais, mas estes mapas não são comuns ou as escalas são geralmente muito pequenas, não permitindo o nível de detalhe que se necessita. Assim, as coberturas superficiais ou materiais inconsolidados devem ser determinados por exaustivos trabalhos de fotointerpretação e de campo, sendo a informação básica de maior dificuldade de aquisição.
- Outro fator limitante refere-se à falta de registros de ocorrência para a geração dos mapas de eventos, que são muito importantes para a validação dos modelos de suscetibilidade propostos.
- Como os processos em questão estão diretamente relacionados a eventos pluviométricos, o fato das séries históricas de chuva serem de maneira geral pequenas, incompletas, com estações de coleta de dados esparsas e isoladas, representa outro fator limitador da geração dos modelos de suscetibilidade.

Considerando que a abrangência das áreas estudadas está nos níveis de município ou de bacias hidrográficas, deve-se entender a limitação de alcance dos modelos de suscetibilidades, estando estes relacionados de maneira geral à identificação de processos de inundação, movimentos de massa mais significativos e naturais, processos erosivos e corridas de lama e detritos.

O mapeamento pode ser feito a partir de uma abordagem integrada dos aspectos do meio físico, sendo hoje preponderante que as análises sejam feitas a partir da integração das informações em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG), pelas vantagens de rapidez nas análises espaciais (qualitativas e quantitativas),

maior capacidade de armazenamento de dados e possibilidade de se melhorar sistematicamente o modelo com a entrada de novas informações.

No entanto, para seguir este procedimento deve-se ter segurança sobre os dados de entrada, e que estes necessariamente estejam em escalas compatíveis. Assim, propõem-se a seguir as informações básicas mínimas de entrada para a geração dos modelos de suscetibilidade:

- Mapas topográficos nas escalas 1:25.000 ou maiores para a elaboração de modelos tridimensionais do terreno;
- Rede de drenagem para avaliação do escoamento superficial e de interfluxo das águas pluviais que modelam a topografia em escala compatível;
- Análises morfométricas derivadas da base topográfica na escala adequada: declividade, concentração de fluxo, curvatura das encostas, etc.;
- Mapa de materiais inconsolidados (solos residuais e transportados), principalmente no que se refere à delimitação dos depósitos superficiais mais significativos, como os depósitos de tálus e os aluvionares;
- Mapa geológico estrutural para identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar fluxos superficiais e corridas de detritos e solo;
- Mapa geomorfológico que auxilie na determinação das áreas passíveis de inundação;
- Histórico de ocorrências de movimentos de massa e inundações, que são preponderantes para a validação do modelo de suscetibilidade gerado;
- Trabalhos de campo, que é a etapa mais importante, para a identificação de feições de instabilidade, depósitos superficiais, refinamento do modelo, etc., até que se chegue a um modelo conceitual aceitável.

Discute-se muito se o uso do solo entraria como variável na análise das suscetibilidades, mas com relação a áreas urbanas, este fator seria mais preponderante na análise de risco. No caso de um levantamento na escala 1:25.000, os usos agropastoris e a remoção da cobertura vegetal poderiam ser fatores integrados na análise de suscetibilidade.

As análises das séries históricas de acumulados de chuva – cartas de pluviosidade e até mesmo a correlação entre faixas de declives e ângulos

de atrito gerais dos materiais, ou ainda modelos cinemáticos regionais, dentre outros poderiam ser fatores posteriormente integrados na análise de suscetibilidade para a determinação das classes de predisposição aos processos geodinâmicos (suscetibilidade baixa, média e alta).

Na integração dos dados as bases temáticas têm importância diferenciada em relação ao processo analisado e sempre estará em aberto a questão de ponderações e adoção de valores ou índices para as unidades. As técnicas e métodos para estes procedimentos são muito variados e dependentes de outros fatores além das bases fundamentais de análise. Os modelos em SIG podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas, e buscam a representação simplificada da realidade, através da seleção dos aspectos mais relevantes, na busca de respostas sobre correlações e comportamentos de variáveis ambientais. Um procedimento muito comum é a análise de multicritérios, também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise Hierárquica de Pesos, que se baseia no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. Outra forma de atribuição de pesos é a construção de análises baseadas por estatística, com a identificação das situações nas quais exista baixa correlação entre as variáveis e alta correlação com o fenômeno ou ocorrência a ser explicado.

Independentemente dos métodos e materiais utilizados, o importante é elaborar um documento que represente setores na paisagem que têm condicionantes naturais que possam indicar a possibilidade de ocorrência de um processo, assim como as áreas sob influência (atingimento) destes processos.

Os processos de inundações/enchentes e os movimentos em encostas estão sempre associados a eventos pluviométricos e sua correlação vem sendo aplicada em diversos locais, principalmente em sistemas de alerta. Mas estas correlações têm como uma das bases os cadastros de ocorrência ou laudos, registrados em quase sua totalidade em áreas

urbanas, mas desconhecidos nas zonas rurais (em número, localização e data de ocorrência), fato que torna mais simples e imprecisas as correlações.

A representação das cartas de suscetibilidade deve ser simples e clara, mostrando as áreas fonte e de atingimento dos processos e suas consequências. Pode-se analisar e representar os processos isoladamente, agregando posteriormente as informações em um produto cartográfico único. Esta carta tem finalidade multiuso (planejamento agrícola, implantação de vias e dutos, planos de reabilitação, etc.), não considerando na análise aspectos específicos de cada intervenção. No caso das cidades, identificará as áreas adequadas ou não para urbanização numa visão macro do sistema.

As cartas de suscetibilidade têm abrangência geral e apresentam uma análise inicial do meio físico de uma região (município, região metropolitana, bacia hidrográfica), tendo aplicação mais eficaz no planejamento ambiental, planejamento regional, gestão territorial e de bacias hidrográficas, zoneamentos, ambientais e de grande utilidade nos planos diretores municipais. No que se refere aos riscos geológicos e catástrofes naturais, as cartas de suscetibilidade serão básicas para sistemas de alerta de abrangência mais regional.

Deve-se entender a limitação dos mapas de suscetibilidade, não sendo possível definir ações a curto e médio prazo com identificação precisa da magnitude dos problemas instalados, para que o poder público atue preventivamente e emergencialmente no período de chuvas, bem como onde quais intervenções estruturantes serão necessárias para fins de regularização das áreas mais problemáticas. Não obstante, sugere-se:

1. Que os setores/áreas identificados como de suscetibilidade alta e que estejam ocupados, considerando a proposta de mapeamento progressivo, devem ser mapeados com a metodologia proposta para a identificação do risco geológico na escala de detalhe.
2. Os setores identificados como de suscetibilidade alta e que não estejam ocupados devem ser considerados inicialmente como áreas não edificantes e,
3. Os setores identificados como de suscetibilidade média, ocupados ou não, devem ser destinados à elaboração de cartas geotécnicas para avaliação da sua aptidão ao uso urbano.

## CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

Uma análise de suscetibilidade estabelece a indicação de áreas mais adequadas para a ocupação e outras com restrições, mas a escala de análise não permite o detalhamento que se deve ter na orientação da ocupação urbana (sistemas de espaços públicos e privados - áreas de convívio coletivo, equipamentos comunitários, centros comerciais, vias veiculares, vias de pedestre, espaço construído e sistema de circulação, espaço construído e equipamentos urbanos, sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, etc.). Numa análise em maior detalhe, nem toda extensão de uma área considerada adequada à ocupação está isenta de problemas de ordem geotécnica, assim como nem toda extensão de uma área inadequada quanto à suscetibilidade a processos representa situações críticas ou de risco potencial.

Além dos aspectos legais, as características locais de declividade, drenagem ou tipo de material inconsolidado e/ou substrato podem trazer restrições à ocupação, devendo ser analisados em escala compatível para a tomada de decisão em nível local ou pontual. Por outro lado, áreas consideradas inadequadas numa análise mais ampla podem já estar ocupadas, assim como áreas adequadas na análise de suscetibilidade podem estar consolidadas ou em processo de consolidação. No caso de áreas suscetíveis à ocorrência de processos já ocupadas, caracteriza-se a situação de risco numa abordagem mais geral, mas deve-se detalhar cartograficamente estes setores, de forma a se ter bem definidos os locais sob maior perigo, para uma análise posterior (cartas de risco geológico), buscando a mitigação ou erradicação dos riscos existentes. No caso das áreas consolidadas e consolidáveis com potencial para adensamento e consolidáveis sob condicionantes, geralmente há necessidade de reordenamento urbano, uma vez que as condições do meio físico e o próprio uso e ocupação podem gerar situações de risco pontuais, remetendo à necessidade de integrar as análises dos diagnósticos ambientais, urbanísticos e jurídicos para se chegar a um produto final com orientações que definam:

- Áreas regularizáveis, onde não seriam necessárias intervenções significativas e a titulação das mesmas estaria liberada,

- Áreas regularizáveis sob condições onde seriam necessárias intervenções em número elevado ou cujo porte é significativo para a sua consolidação, condicionando a titulação à execução das intervenções propostas e,
- Áreas caracterizadas como não regularizáveis onde a proposta é que não deve consolidar a ocupação, em função de impedimentos técnicos e/ou jurídicos, sendo então necessária a remoção da ocupação, caso esta exista, ou definição/proposição de uso específico diferente do habitacional, impedindo a titulação.

O melhor instrumento para dar suporte ao uso e ocupação urbana é uma carta geotécnica que correlacione as características do meio físico e os processos geodinâmicos que podem ocorrer, sejam de causa natural sejam induzidos pela ocupação. Este documento cartográfico deve trazer informações sobre todas as diferentes feições geológicas e geomorfológicas, delimitando unidades quanto aos seus comportamentos geotécnicos frente à ocupação urbana, gerando unidades de aptidão ao uso urbano (Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização). O objetivo final é definir áreas que não são passíveis de ocupação e os setores que podem ser ocupados, desde que sejam seguidos os critérios técnicos estabelecidos para este fim. Em qualquer situação, estas cartas devem sempre indicar as restrições legais e aquelas relacionadas ao meio físico existente.

A qualidade deste tipo de carta tem grande dependência da quantidade de informações disponíveis ou geradas no processo de mapeamento. Estes produtos devem ser elaborados em escala de detalhe, sendo desejável a escala 1:5.000 ou maior, mas em determinados contextos a informação em escala 1:10.000 pode ser suficiente. Pelas escalas sugeridas e o custo envolvido, em poucos municípios é viável o mapeamento por completo do seu território. Assim, estas cartas devem focar apenas áreas ocupadas ou a este fim destinado, devendo ser ampliadas à medida que surjam novas necessidades.

A produção de uma carta nessa escala envolve intensos trabalhos de campo, que podem ser precedidos de modelagem, dependendo das bases de informação disponíveis. A seguir estão elencados as informações temáticas básicas consideradas necessárias no processo de produção destas cartas.

- Base topográfica ou cadastral (1:5.000 ou maior) em escala que permita a representação precisa das feições e aspectos observados em campo (mapeamento) e a geração de cartas geomorfológicas de caráter quantitativo (declividade, curvatura, escoamento superficial, etc.) que possam ser integradas em análises futuras,
- Fotografias aéreas, ortofotos e imagens orbitais com resolução compatível com as escalas de trabalho,
- Mapa geológico estrutural para identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar fluxos superficiais e corridas de detritos e solo e, quando for o caso, as principais famílias de descontinuidade visando a geração de modelos de estabilidade,
- Mapa de materiais inconsolidados (solos residuais e transportados) gerados na mesma escala a partir de trabalhos de fotointerpretação e de campo, delimitando os depósitos superficiais (solos, aluviões, talus, colúvios e depósitos antrópicos),
- Representação das bacias de contribuição, que são as unidades de análise do sistema de drenagem, de forma a permitir avaliar como a configuração do espaço ocupado influencia as condições de drenagem pluvial,
- Identificação dos agentes/feições potencializadores de risco geológico: encostas com inclinação acentuada, cortes verticais e/ou subverticais em solo e em rocha, sistema de famílias de descontinuidades (falhas, superfície de estratificação, foliação, diáclase, clivagem de fratura, xistosidade), lançamentos concentrados e contínuos de água e/ou esgoto, acúmulos de lixo e/ou entulho, aterros lançados, bananeiras e/ou espécies inadequadas, minas d'água, cisternas, fossas etc.,
- Identificação de indícios de movimentação do terreno: cicatrizes de escorregamento, feições erosivas lineares (ravinas voçorocas), feições erosivas e de escavação nas margens dos cursos d'água, trincas no terreno e/ou nas edificações, degraus de abatimento, estruturas de contenções inclinadas e/ou deformadas, inclinação anormal de árvores, postes, cercas e outras estruturas,
- Análise dos eventos destrutivos potenciais: escorregamentos (de solo residual e transportados, de aterro e de lixo), erosão, solapamento, queda /rolamento de blocos rochosos, inundação/enchente/alagamento etc.,
- Identificação das faixas de inundação dos ca-

nais (revestidos ou em leito natural), pois estes representam a existência de condições de funcionamento e eficiência, em termos de coleta, transporte e lançamento adequados das águas pluviais, considerando os períodos de recorrência de interesse para o planejamento,

- Dados de sondagem ou a elaboração de perfis esquemáticos em campo que permitam a definição das espessuras das camadas, a caracterização dos perfis de solo/aterro e o nível de águas subterrâneas (modelo hidrogeológico). Em alguns casos os ensaios de caracterização dos materiais são necessários para avaliação do comportamento mecânico e hidráulico dos materiais,
- Identificação das redes de drenagem (pontos de captação, condução e lançamento de fluxo de drenagem) e avaliação do sistema viário, pois este desempenha a função de elemento de drenagem determinante no comportamento hidráulico da área,
- Estudo das redes de esgotamento sanitário para avaliação do grau de comprometimento das condições de salubridade da área ocupada, bem como da interferência do lançamento destas diretamente nas encostas, quando da inexistência ou inadequação do sistema de esgoto sanitário e,
- A avaliação das séries históricas de chuvas, que são importantes para a definição dos períodos de recorrência e são base para estudos posteriores de correlação pluviosidade e escorregamentos/inundação, para implantação de sistemas de alerta/alarme.

Infelizmente, a maioria das cidades brasileiras não tem estas informações. Quando existe uma base cadastral, geralmente só se tem a restituição das áreas ocupadas, as fotografias aéreas existentes geralmente não têm o nível de detalhe exigido e as imagens orbitais de resolução compatível com a escala adotada ainda têm um custo elevado. Assim, há que se ter investimento por parte dos municípios na elaboração e obtenção destes produtos (aerolevantamento e restituição em detalhe, aquisição de imagens orbitais).

A análise de informações geotécnicas quantitativas, como dados de sondagens, ensaios de laboratório, geofísica, etc. antes do início dos trabalhos de campo possibilita uma visão prévia do comportamento dos terrenos, principalmente em profundidade (resistência, nível de água, etc.) e facilita em muito os trabalhos de mapeamento e delimitação das unidades geotécnicas. Porém, geralmente

os municípios não têm estes dados organizados e sua aquisição depende sempre da boa vontade de empresas para liberação de seus relatórios de sondagens e ensaios. De qualquer forma, em um determinado momento da elaboração de uma carta de aptidão à urbanização deve-se efetuar estudos desta natureza, principalmente para complementar a caracterização geotécnica das unidades mapeadas.

Cartas representando o substrato rochoso e as coberturas superficiais (solos residuais e transportados) são bases imprescindíveis para elaboração de cartas geotécnicas orientadoras da ocupação urbana. Caso existam, também são importantes os levantamentos pedológicos. No entanto, não há no Brasil trabalhos de mapeamento destes temas nas escalas aqui preconizadas para a cartografia geotécnica. Assim, coberturas e substrato são praticamente remapeados quando da execução dos trabalhos de campo. Também durante os trabalhos de campo, com apoio dos dados de sondagem, deve ser elaborado o modelo hidrogeológico, representado ou não em cartas temáticas.

Caso existam ou sejam produzidas informações cartográficas detalhadas (topografia, substrato, coberturas, geomorfologia, processos geodinâmicos, declividades, etc.) pode-se proceder uma análise prévia por meio de técnicas de análise espacial em ambiente de sistemas de informações geográficas (SIG), gerando uma carta preliminar, que deve ser posteriormente validada e corrigida em seus pontos falhos. Neste caso, pode-se economizar um bom tempo nos trabalhos de campo (mapeamento). Porém, é mais comum a inexistência destas bases, ou estas estarem disponíveis em escalas menores que a escala de trabalho fazendo-se necessário seu desenvolvimento ou validação durante os trabalhos de mapeamento.

Não se pretende aqui estabelecer uma metodologia para mapeamento geotécnico em escala de detalhe, uma vez que são inúmeros os procedimentos e técnicas atualmente adotados e estes são dependentes do material que se tem disponível e dos recursos existentes, tanto financeiros como instrumentais (equipamentos, *softwares*), além do tempo que se dispõe para a execução da carta. Dessa forma, os métodos e técnicas utilizados no processo de cartografia e definição de unidades geotécnicas, assim como sua caracterização não

são aqui discutidos, cabendo aos profissionais que atuarão no mapeamento definirem o método que mais se adequa às condições existentes para o trabalho.

Um ponto importante no processo refere-se aos produtos que serão gerados, ou seja, quais informações devem ser dadas e como serão representadas nas cartas geotécnicas de aptidão à urbanização. Uma releitura dos anais dos Simpósios de Cartografia Geotécnica e Geoambiental e dos Congressos Brasileiros de Geologia de Engenharia e Ambiental dos últimos doze anos fornece um panorama bem completo do que se fez e tem sido feito em termos de representação de unidades geotécnicas ou geoambientais. Sempre com foco na ocupação urbana, há cartas que mostram adequabilidades, vulnerabilidades, fragilidades, aptidão, restrições, etc.. Outras representam unidades com critérios geológicos, geomorfológicos ou pedológicos sempre refletidos nos nomes das unidades. Alguns destes produtos são mais técnicos, outras vezes têm maior capacidade de transmissão das informações. Todas, ao fim, buscam representar áreas com aptidão à ocupação urbana, mas a forma de se mostrar isto é muito diversificada.

Assim, o que se propõe aqui é que se objetive um produto cartográfico final com unidades representando:

1. Áreas com aptidão à ocupação (áreas já consolidadas e aptas do ponto de vista geológico-geotécnico),
2. Áreas que podem ser ocupadas segundo determinados critérios técnicos (áreas consolidáveis com intervenções estruturantes) e,
3. Áreas inaptas para a ocupação (áreas não consolidáveis), às quais se deve dar outro tipo de uso.

Independentemente do método e material utilizado na elaboração do mapeamento e dos nomes que tenham as unidades ao fim do trabalho, propõe-se que seja elaborado um documento síntese com as unidades acima sugeridas, apontando as restrições em cada local (relacionadas ao meio físico ou legais) e os critérios gerais de ocupação. A grande vantagem de um documento deste tipo é a possibilidade de utilização mais direta pelas municipalidades, instâncias públicas responsáveis pelo planejamento urbano, outros

profissionais ou mesmo leigos. Na maioria dos trabalhos existentes é possível, por vezes agregando um pouco mais de informação, derivar uma carta deste tipo a partir das unidades de mapeamento determinadas.

Além das orientações gerais para o uso e ocupação do solo urbano, a carta geotécnica de aptidão à urbanização pode subsidiar outros instrumentos de gestão territorial como leis de uso do solo e planos diretores, em seus aspectos mais específicos. A sua utilização, no entanto, não substitui estudos locais quando se pretenda qualquer intervenção no meio físico, tanto por seu caráter orientativo mais geral, como pela escala, incompatível com o nível de projeto. Por outro lado, com os dados obtidos durante o estudo, é possível gerar vários outros tipos de cartas mais específicas e direcionadas (cartas de parâmetros, cartas de adequabilidade, etc.), que sempre trarão mais elementos de análise a serem agregados nas cartas de aptidão à urbanização e orientar a tomada de decisões. Como a geração destas cartas específicas depende de vários fatores, principalmente metodológicos, não é possível sugerir uma padronização ou listar que tipos de produtos devam ser gerados.

## CARTAS GEOTÉCNICAS DE RISCO EM ÁREAS URBANAS

As cartas de risco geológico são instrumentos que apresentam a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológicos, visando à definição de ações de prevenção de acidentes (Cerri & Amaral 1998). De uma forma mais ampla, são produtos da análise da ocupação territorial e as zonas de suscetibilidade à ocorrência de processos geológicos. As cartas de risco em áreas urbanas avaliam os danos potenciais à ocupação decorrentes de fenômenos naturais ou induzidos pelo uso do solo, hierarquizando unidades, setores e pontos quanto ao grau ou iminência de perda, buscando a proposição de medidas corretivas e erradicadoras das situações de risco.

As consequências da desorganização da ocupação urbana ocorrida, principalmente nas quatro últimas décadas, têm se expressado pelo grande número de acidentes associados a escorregamentos em encostas, a inundações de margens de córregos e a corridas de massa durante os episódios

de chuvas intensas e prolongadas dos anos mais recentes, com enormes danos aos diretamente atingidos e a toda a sociedade, quando não resultam também em mortes e ferimentos. Somente nos últimos 20 anos já ocorreram mais de 3.200 óbitos relacionados a episódios de escorregamentos no Brasil (IPT 2011) e um sem número de vítimas e prejuízos relacionadas a inundações.

Embora grande parte do tratamento das situações de risco das cidades brasileiras possa estar associada diretamente a políticas públicas de habitação, de planejamento e de controle urbano, é indispensável a implementação de práticas específicas de gerenciamento dos riscos geológicos, o que passa inevitavelmente pela necessidade de mapeamento das áreas de risco geológico-geotécnico (cartas geotécnicas de risco em áreas urbanas).

Os riscos geológicos aqui tratados podem ser definidos como a probabilidade de ocorrência de acidentes danosos à população, aos bens públicos e privados e à infra-estrutura, resultantes de processos naturais (movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes, enxurradas, alagamentos, erosão linear e de margens de canais, processos cársticos, etc.) em ambientes modificados pela implantação do tecido urbano e pela ação cotidiana do homem. Tratam-se, portanto, de processos sócio-naturais, onde se combinam a ação desencadeadora das chuvas, a suscetibilidade do ambiente físico (solo, rochas, forma do relevo e das bacias hidrográficas, vegetação, características fluviais) e a forma de ocupação humana deste ambiente, que o modifica e nele se integra para construir a cidade. Ou seja, o enfrentamento destas questões é bem distinto do que se faz quando se analisa a suscetibilidade à ocorrência de processos geodinâmicos ou se pretende definir setores com aptidão ou não para a ocupação urbana (moradias, infra-estrutura e equipamentos).

Na grande maioria das cidades brasileiras, a ocorrência destes acidentes é indiscutivelmente mais frequente, em número de registros e danos, nos ambientes mais vulneráveis: os aglomerados, morros, favelas, vilas, assentamentos precários, ocupações irregulares, assentadas em terrenos menos adequados/favoráveis do espaço urbano (terrenos com declividade acentuada, cabeceiras de talvegues, linhas de drenagem, planícies de inundação e terraços, pedreiras desativadas,

etc.). Geralmente nestas áreas, além das nem sempre boas características do meio físico, não há infra-estrutura implantada e consolidada e muito menos serviços urbanos básicos que atendam minimamente o necessário (pavimentação - calçamento, guias, sarjetas, sistema de drenagem superficial, rede de esgotamento sanitário, coleta de lixo, etc.). Soma-se a esta condição o fato de muito raramente existirem ações de fiscalização e controle da ocupação e do uso do solo, o que pode ser estendido para as áreas denominadas formais do espaço urbano ocupado, que também podem estar suscetíveis a processos geodinâmicos como, por exemplo, o evento catastrófico ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro no primeiro semestre de 2011.

Um grande número de pesquisadores e profissionais tem se dedicado ao propósito de se criar mecanismos para a diminuição da perda de vidas e dos prejuízos econômicos devido aos riscos geológicos. Entretanto, as políticas de administração pública, em sua maioria, ainda utilizam muito pouco o conhecimento técnico-científico para minimizar ou solucionar os principais problemas ocorrentes, principalmente os relacionados ao uso e ocupação do meio físico.

O estudo do risco geológico envolve inúmeros procedimentos e metodologias, que dependem dos objetivos, das escalas de trabalho e dos processos atuantes. Fundamenta-se na observação e no registro de indicadores de instabilidade, naturais ou decorrentes da ação antrópica, enfocando as consequências prováveis em caso de deflagração dos processos (IPT, 1991).

Uma das maneiras de se analisar e representar os riscos geológicos se dá pelo estabelecimento de correlações entre os elementos do meio físico com base em avaliações qualitativas e/ou subjetivas, o que só será possível frente à qualidade das observações de campo e à experiência dos profissionais (conhecimento especialista). Neste caso, a abordagem do mapeamento é integrada ou sintética. Nos últimos anos alguns pesquisadores têm trabalhado com a possibilidade de se gerar bancos de dados digitais confiáveis e representativos na tentativa de obter correlações mais quantitativas e/ou objetivas, orientadas por "parâmetros estatísticos ou semi-estatísticos", com o intuito de facilitar e agilizar os trabalhos que envolvem análise e

o zoneamento de riscos futuros. Entretanto, essas tentativas continuam esbarrando na necessidade de se ter dados de entrada em escalas compatíveis com os problemas mais recorrentes, destacando-se entre outros que:

- As bases topográficas geralmente estão disponíveis nas escalas 1:25.000 ou menores, não permitindo a representação precisa das feições e aspectos observados em campo (mapeamento) e, conseqüentemente, as cartas derivadas destas acumulam a imprecisão da escala, destacando as cartas geomorfológicas qualitativas e os mapas morfométricas de caráter quantitativo (declividade, curvatura, escoamento superficial, etc.), o que dificulta a adequada integração em análises futuras,
- Os mapas cadastrais com representação dos domicílios (localização e identificação) quase inexistem e nos municípios onde estes foram gerados é comum que tenham recobrimento apenas da cidade chamada formal, deixando de lado as áreas mais problemáticas (assentamentos precários). Sem a identificação dos domicílios o zoneamento do risco não permite que ações a curto e médio prazo sejam tomadas (sistemas de alerta-alarme),
- As fotografias aéreas e imagens orbitais com resolução compatível com as escalas de trabalho também não são utilizadas na maioria das vezes, em decorrência do seu custo elevado,
- Os Mapas geológicos estruturais, como já apontado para as análises de suscetibilidade e aptidão, estão em escalas menores que 1:25.000, dificultando a identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar fluxos superficiais e corridas de detritos e solo, além de impossibilitar análises mais complexas, mas necessárias, como é o caso da avaliação das principais famílias de descontinuidade visando a geração de modelos de estabilidade.

As análises por correlações orientadas por parâmetros estatísticos ou semi-estatísticos têm dificuldades da inserção da ação pontual do homem (alteração da geometria de taludes, lançamento de águas e esgotos, etc.) sobre o meio físico, que por vezes pode ter efeito positivo (intervenções estabilizadoras, obras de drenagem, etc.). Por vezes, com o processo gradual de urbanização e execução de intervenções pontuais ocorre uma minimização e até a eliminação dos

riscos em áreas apontadas inicialmente como suscetíveis à deflagração de processos geodinâmicos. Outra dificuldade limitadora é a compreensão na escala necessária da infra-estrutura das áreas analisadas, pois para a avaliação do risco geológico tem-se que considerar inevitavelmente as bacias de contribuição locais e suas condições de drenagem pluvial, a avaliação do sistema viário e identificação das redes de drenagem e as redes de esgotamento sanitário para avaliação do grau de comprometimento das condições de salubridade.

Assim, o zoneamento das áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos sempre dependerá do conhecimento e levantamento dos atributos que influenciam na predisposição e deflagração destes fenômenos, bem como na avaliação da variação espacial das condições dos terrenos e a distribuição espacial dos problemas. O grande desafio é confrontar as características físicas, geológicas e geotécnicas das áreas, com os indicadores de instabilidade (trincas no terreno, degraus de abatimento, estruturas deformadas, etc.) e as ações antrópicas identificadas como desencadeadoras de situações de risco.

As metodologias atualmente aplicadas no tratamento dos riscos geológicos estão sempre de alguma maneira alinhadas à proposição da Organização das Nações Unidas (UNDRO 1991), a qual estabelece que gerenciamento de riscos geológico deve envolver, necessariamente, quatro estratégias básicas:

- A identificação e a análise (mapeamento) dos riscos,
- O planejamento de ações, obras e intervenções estruturantes para a redução ou, se possível, a erradicação dos riscos,
- O monitoramento das situações de risco identificadas, especialmente nas situações críticas de pluviosidade: implementação de planos de emergência e contingência,
- A informação pública e a capacitação para a prevenção e autodefesa das comunidades em risco.

As cartas geotécnicas de risco geológico em áreas urbanas tratadas aqui neste trabalho seguem fundamentalmente esta proposta, sendo que entre os procedimentos que são extremamente necessários durante o processo de mapeamento, podem-se elencar:

- A importância de que se faça, no início do trabalho de mapeamento, uma pesquisa de dados

sobre ocorrências e registros de acidentes junto aos órgãos competentes (arquivo público municipal e estadual, Corpo de Bombeiros, Defesa Civil, etc.) e de mapeamentos e/ou estudos anteriores, para que se tenha um entendimento prévio dos problemas recorrentes e seus condicionantes principais,

- A utilização de bases cartográficas, principalmente mapas topográficos e cadastrais de detalhe (1:5.000, 1:2.000). No entanto, este documento não é limitador ao desenvolvimento do mapeamento dos setores de risco geológico, uma vez que a grande maioria dos municípios brasileiros não possui estas bases e, pelo fato dos levantamentos serem quase sempre em detalhe de laudo geotécnico ou de projeto (caracterização e análise *in loco* do meio físico, dos agentes potencializadores e a identificação dos indícios diretos de movimentação),
- A execução de vôos de baixa altitude para obtenção das fotografias aéreas oblíquas, que além de minimizar os problemas de representação do mapeamento em decorrência da ausência de bases cartográficas adequadas, permitem uma análise preliminar das áreas a serem estudadas e a seleção de trechos com maior potencialidade de configurar situações de risco geológico,
- A determinação e descrição, nos trabalhos de campo, dos fatores condicionantes do risco geológico dos setores em avaliação, tais como litotipo presente, perfil de alteração, presença e espessura das camadas de solo, aterros/bota-fora e lixo, presença de estruturas - famílias de descontinuidade e suas relações cinemáticas, declividade, distâncias da base e da crista da encosta em relação às moradias, presença de blocos rochosos, dinâmica do regime do escoamento dos cursos d'água e posição na bacia hidrográfica, obstrução das linhas de drenagem naturais, etc..
- A identificação e representação na base cartográfica dos agentes/feições potencializadoras de risco geológico: cortes verticais e/ou subverticais (inclusive em rocha), lançamentos concentrados de água e/ou esgoto, fossas, acúmulos de lixo e/ou entulho, existência de aterros lançados, bananeiras e/ou espécies impróprias, minas d'água, cisternas, etc.

Com a escala de mapeamento proposta, os indícios de movimentação do terreno podem ser identificados e representados, na base cartográfica e imagens oblíquas: cicatrizes de escorregamento, feições erosivas lineares (ravinas voçorocas) e feições erosivas das margens dos cursos d'água, trincas no terreno e/ou nas edificações, degraus de abatimento, estruturas com a função de contenção inclinadas e/ou deformadas, elementos físicos inclinados (árvores, postes, cercas e outros).

Todos os processos geodinâmicos, bem como sua abrangência, são passíveis de identificação (reconhecimento): movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

A metodologia adotada pelo Ministério das Cidades (Brasil 2004) tem sido o procedimento mais difundido na identificação e mapeamento de riscos geológico nos últimos 10 anos, tendo se tornado uma iniciativa organizada para a melhoria da situação do quadro atual e já foi aplicada em mais de 60 municípios do país, o que não impede a aplicação de outros métodos, considerando sempre a necessidade dos mapeamentos serem executados na escala de detalhe (1:2.000 ou maiores), com o intuito de se identificar pontualmente os locais problemáticos e respectivamente as ações necessárias para eliminação do risco geológico em curto prazo.

Nesse sentido, como preconizado pela metodologia do Ministério das Cidades propõe-se que os estudos para a avaliação do risco estabeleçam quatro graus hierárquicos (baixo, médio, alto e muito alto) para uniformização dos procedimentos e tomada de decisões.

A delimitação dos setores/áreas de risco geológico, como também adotado na metodologia do Ministério das Cidades, deve representar os locais sujeitos à ocorrência de evento geológico natural ou induzido, ou por ele atingido. Entretanto, sugere-se, diferentemente do que tem sido adotado atualmente, quando os setores de risco são delimitados apenas pelos domicílios, que também sejam englobados nos setores de risco toda a área de abrangência dos processos,

principalmente no tocante a escorregamentos, quedas de blocos rochosos e corridas de massa. Desta forma, as cartas de risco geológico em áreas urbanas podem auxiliar no próprio planejamento urbano do município, com as soluções urbanísticas contemplando efetivamente os setores identificados como de risco geológico, deixando assim de serem documentos voltados somente para ações emergenciais.

É importante destacar que na cartografia de risco geológico, durante o processo de mapeamento podem ser identificadas situações que exigem ações imediatas de forma a não permitir a permanência das famílias em locais identificados com maior potencial à deflagração de processos geodinâmicos, bem como ações que podem e devem ser executadas a curto e médio prazo. Nesse sentido julga-se de extrema importância que, concomitantemente à etapa de mapeamento dos riscos geológicos, a equipe executora do mapeamento proponha ou determine as intervenções estruturais e de gerenciamento para cada setor de risco (remoções definitivas e temporárias, obras de engenharia, monitoramento sistemático, etc.), a estimativa dos custos necessários para que estes sejam captados e ou reservados no orçamento do município e, também, a definição de critérios técnicos para a priorização de tais intervenções. Os quantitativos (como extensões, áreas e/ou volumes) devem ser levantados em campo, ou graficamente dependendo da situação, chegando-se ao orçamento individualizado das intervenções para cada setor de risco. Desta forma, a carta de risco geológico em áreas urbanas pode ser considerada o documento mais importante em todas as etapas de gestão dos riscos urbanos.

O mapeamento do risco na escala de detalhe é a maneira mais eficiente para a proposição de ações visando a eliminação do risco geológico a curto e médio prazo, sendo que o resultado do mapeamento pode ser integrado a outros instrumentos de planejamento.

## CONCLUSÕES

A cartografia geotécnica no Brasil já atingiu um nível de excelência no domínio das técnicas e procedimentos de mapeamento, gerando produtos finais dos mais diversos, tanto por questões metodológicas, como por particularidades locais do

meio físico, foco do estudo e até de materiais e recursos disponíveis. Esta diversidade traz algumas dificuldades quando se quer realizar uma análise mais geral ou se comparar situações em diferentes partes do país. Desta forma, este ensaio pretende por na mesa de discussão alguns pontos de interesse na atuação da cartografia geotécnica no âmbito do planejamento e gestão urbana, no sentido de se buscar uma maior uniformização nos objetivos e resultados dos trabalhos desenvolvidos.

Os acidentes catastróficos dos últimos anos (Vale do Itajaí, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Niterói, Teresópolis e Nova Friburgo) alarmaram a todos e levaram a que o governo federal buscasse um caminho no combate aos desastres naturais como uma política de estado. Eventos desta magnitude sempre chamam a atenção e comovem populações e autoridades, mas uma real política de redução de riscos e consequências de eventos naturais passa por medidas preventivas e, principalmente, de planejamento e reordenamento urbanos, visto o quadro atual da grande maioria das cidades brasileiras.

Neste sentido, o Ministério do Planejamento incluiu no programa orçamentário (PPA 2012-2015) o programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, envolvendo os ministérios da Integração Nacional, de Ciência e Tecnologia e de Minas e Energia. Dentre os objetivos deste programa, estão o desenvolvimento de mapeamentos da suscetibilidade a processos destrutivos nos municípios com histórico de acidentes/desastres naturais a ser desenvolvido pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil/MME, elaboração de cartas geotécnicas nos municípios críticos a cargo da Secretaria Nacional de Programas Urbanos/MCidades, mapeamento de risco em áreas ocupadas sob a responsabilidade da Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN; intervenções estruturais para prevenção de risco em encostas (Secretaria Nacional de Programas Urbanos/MCidades); obras emergenciais para redução do risco (Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN), além da implementação do Sistema Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/MCT.

Neste contexto, têm-se desenvolvido muitas discussões e reuniões técnicas com representantes dos órgãos federais objetivando a definição de

medidas e ações que contribuam para o cumprimento dos objetivos estabelecidos. Desta forma, a proposição aqui apresentada busca fomentar o início da discussão sobre a atuação da cartografia geotécnica nestes programas, objetivando uma maior padronização dos procedimentos adotados nos diversos níveis (regional, local e de detalhe), o estabelecimento de bases mínimas para os mapeamentos e, principalmente, que tipo de produto se pretende ter e quem será o usuário direto.

O conceito de mapeamento com detalhamento progressivo pode ser adaptado nas práticas de cartografia geotécnica no planejamento urbano, determinando estudos mais gerais e regionais (cartas geotécnicas de suscetibilidades), estudos locais e orientadores para o uso e ocupação do solo urbano (cartas geotécnicas de aptidão à urbanização) e estudos e projetos pontuais que busquem a mitigação ou erradicação dos riscos já existentes (cartas geotécnicas de risco geológico). Embora desejável seu desenvolvimento sequencialmente, estes produtos cartográficos podem ser elaboradas independentemente uns dos outros, segundo as necessidades mais prementes dos municípios, tanto em termos emergenciais como no planejamento e prevenção de problemas de natureza geológico-geotécnica.

Ressalta-se a necessidade de bases mínimas de informação (imagens, cartas temáticas, cadastros de ocorrência de eventos, etc.) para o desenvolvimento dos mapeamentos e neste aspecto a maior carência é a ausência de bases topográficas de detalhe suficiente para cada nível hierárquico. As metodologias de mapeamento não foram aqui abordadas ou sugeridas, pois muitas vezes aspectos do meio físico (geomorfologia, geologia, solos) podem ser decisivos para a melhor resposta de um ou outro método e outros fatores como existência ou não de informações básicas, tempo de execução e recursos disponíveis podem trazer restrições a um ou outro método.

Esforços devem ser feitos no sentido de se caminhar para uma padronização da apresentação dos resultados (cartas, unidades de análise, relatórios), uma vez que com a variedade de procedimentos e representações hoje existentes dificulta ou mesmo impossibilita a comparação entre os casos de estudo. Aqui são propostas unidades de mapeamento, mas deve-se discutir a questão com

maior profundidade de forma a se chegar a um consenso. O fato é que iniciativas bem sucedidas como os Planos Municipais de Redução de Risco e os Planos Preventivos de Defesa Civil só puderam ser implementados a partir do momento que se estabeleceu a padronização de procedimentos tornando-os mais facilmente replicáveis e exequíveis pelas municipalidades e instâncias públicas responsáveis. Levando em conta que o planejamento urbano e a gestão de riscos são de responsabilidade e financiada pelo estado (órgãos federais, estaduais e municipais), esta uniformização torna-se imprescindível no momento.

É importante ainda frisar que os objetivos de cada nível hierárquico das cartas são diferentes e os instrumentos legais que poderão embasar são também distintos, assim como os seus usuários mais diretos. Cartas geotécnicas de suscetibilidade são mais eficazes em análises e projeções mais gerais ou regionais como os planos diretores, planos de ordenamento territorial, planos metropolitanos, zoneamentos ambientais, gestão de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológico-econômicos, etc. Cartas de aptidão a urbanização tem aplicação principal no reordenamento e ocupação urbana, subsidiando instrumentos como as leis de uso do solo e planos diretores, em seus aspectos mais específicos, mas também sendo úteis a profissionais e leigos na obtenção de informações sobre o meio físico e seus processos em áreas urbanas. Cartas de risco geológico em áreas urbanas são uma das bases para os sistemas de alerta e planos de defesa civil, além de serem suporte técnico para a implementação de medidas estruturantes e não estruturantes de engenharia, sendo documentos fundamentais na gestão do risco e no próprio planejamento e reordenamento urbano,

## BIBLIOGRAFIA

- BRASIL, Ministério das Cidades. 2004. Critérios para mapeamento de riscos. Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos, Secretaria de Programas Urbanos. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/SNPU>, acessado em agosto de 2011.
- Cerri, L.E.S. 1990. Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. *In: ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia*, 6, Salvador, *Anais* p.309-317.
- 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. *In: ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia*, 8, Rio de Janeiro, 1996. *Anais*, v.2, p.537-548.
- Cerri L.E.S. & Amaral, C. P. 1998. Riscos geológicos. *In: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds). Geologia de Engenharia*, ABGE, p.301-310.
- Freitas, C.G.L. 2000. Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia. São Paulo, Universidade de São Paulo, 230 p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. Ocupação de Encostas. São Paulo, 216 pp.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 2011. Banco de Dados de Mortes por Escorregamento. São Paulo.
- Nogueira, F.R. 2002 Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal, Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro. 266p.
- Prandini, F.L.; Nakazawa, V.A.; Freitas, C.G.L. & Diniz, N.C. 1995. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. *In: O.Y. Bitar (coord.). 1995. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. ABGE/IPTDIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente. p.187-202.
- UNDRO – United Nations Disaster Relief Office. UNDRO's approach to disaster mitigation. *UNDRO News*, jan.-febr.1991. Geneva: Office of the United Nations Disasters Relief Co-ordinator. 20p., 1991.

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 de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, 149 p.

Zuquette, L.V. & Nakasava, V.A. 1998. Cartas de geologia de engenharia. *In*: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds). *Geologia de Engenharia*, ABGE, p.283-300.

Zuquette, L.V. 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos São Carlos, USP, 2v.

Zuquette, L.V. & Nilson G. 2004. Cartografia Geotécnica. Oficina de Textos, São Paulo, 190 p.



# REVISÃO DOS MÉTODOS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE MATERIAIS GEOLÓGICOS COLAPSÍVEIS



*JOSÉ AUGUSTO DE LOLLO*

*Universidade Estadual Paulista (UNESP)*

*Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira*

*Ilha Solteira – SP, Brasil - lolloja@dec.feis.unesp.br*

## RESUMO ABSTRACT

Recalques por colapso se manifestam de forma brusca e intensa e normalmente ocasionam danos significativos em edificações podendo vir a comprometer sua estabilidade. Solos colapsíveis ocorrem em diversas condições geológicas em vários locais do mundo e em parcelas significativas do território brasileiro, em particular nas regiões sudeste, centro-oeste e nordeste. Identificar os solos colapsíveis e conhecer sua distribuição espacial constitui o primeiro passo para tratar o problema. A cartografia de tais materiais fornece as informações fundamentais para intervenções visando eliminar ou reduzir os danos oriundos do colapso seja com base em soluções normativas, de projeto, ou construtivas. Em função da disponibilidade de dados, da finalidade pretendida, e da escala de mapeamento, materiais colapsíveis podem ser cartografados com diferentes abordagens. Cartas de suscetibilidade ao colapso de materiais inconsolidados podem ser produzidas em escalas médias (1:100.000 a 1:50.000) para finalidades de planejamento regional ou municipal com base em levantamentos de campo, ensaios de caracterização, e critérios expeditos de identificação de materiais colapsíveis. Abordagem similar pode ser aplicada em áreas urbanas e de expansão urbana em escalas entre 1:25.000 a 1:10.000 associando-se informações de sondagens. Em maiores escalas (maiores que 1:10.000) podem ser produzidas cartas de zoneamento ou cadastramento de risco considerando-se dados de ensaios de campo e condicionantes antrópicos como características e estado de redes de água e esgoto e projetos de fundações usualmente utilizados na área. Este artigo apresenta as alternativas metodológicas para a cartografia de materiais inconsolidados considerando as diferentes abordagens citadas, bem como as propostas de intervenção mais adequadas em cada caso. São apresentados ainda exemplos de aplicação das técnicas e de propostas de intervenção.

**Palavras-chave:** colapso de solos, cartografia geotécnica, materiais colapsíveis.

## ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING OF COLLAPSIBLE MATERIALS

Settlements due to collapses are abrupt and intense and usually cause significant damage to structures, eventually compromising their stability. Collapsible materials could occur in different geological conditions in various parts of the world and in significant parts of Brazil, particularly in the Southeast, Midwest and Northeast. The first task in focusing this problem is to identify the collapsible materials and know their spatial distribution. The process of mapping such materials provides the basic information for interventions in order to reduce or eliminate damages due to collapse, either by legislative, design, or construction solutions. Considering data availability, the intended purpose and mapping scale, collapsible materials can be mapped by different approaches. Susceptibility collapse charts for unconsolidated material can be produced in medium scales (1:100.000 to 1:50.000) for municipal or regional planning, based on field surveys, characterization tests, and expeditious criteria for the identification of collapsible materials. A similar approach could be applied in urban and urban expansion areas at scales of 1:25.000 to 1:10.000 considering also field investigations, as SPT tests. At major scales (larger than 1:10.000) risk charts can be produced considering the data from field tests and man-made determinants such type and state of conservation of water and sewage pipelines and considering the foundation projects commonly used in the area. We discuss the methodological alternatives for the mapping of collapsible materials considering the different approaches mentioned, as well as the most appropriate interventions in each case. Examples of these methodologies application proposed interventions are presented.

**Key-words:** soil collapse, engineering geological mapping, collapsible soils and sediments.

## INTRODUÇÃO

Certos solos e sedimentos quando experimentam aumento da quantidade de água em seus vazios ou são umedecidos após aplicação de sobrecargas, podem sofrer uma redução de volume expressa por variação brusca de seu índice de vazios sem que necessariamente tenha havido aumento das cargas aplicadas. Tal fenômeno é atribuído ao colapso da estrutura dos solos, donde esses solos e sedimentos têm recebido a designação de materiais colapsíveis.

Fisicamente, o fenômeno do colapso está relacionado à perda de resistência do solo não saturado e pode ocorrer em função da perda dos vínculos que mantinham as partículas sólidas unidas ou pela destruição dos efeitos capilares quando da saturação do material.

As condições nas quais o processo se desencadeia podem levar a crer que variados tipos de materiais inconsolidados podem estar sujeitos ao colapso, no entanto algumas condições próprias de ocorrência do processo e características básicas dos materiais devem ser satisfeitas para que o colapso ocorra.

Materiais colapsíveis podem ser encontrados em diversos países como África do Sul, Angola, Argentina, Austrália, Brasil, Espanha, Estados Unidos, Israel, Quênia, Romênia, dentre outros, sendo, no entanto mais comuns em regiões de clima quente (atual ou pretérito). No Brasil, estes materiais cobrem extensas áreas das Regiões Centro-Sul e Nordeste do país, sendo representados por aterros mal compactados, por depósitos aluviais, coluviais e solos residuais muito lixiviados (Lollo, 2007).

Em função da variedade de tipos de origem que materiais colapsíveis possam ter, é natural que as texturas desses solos também possam se apresentar bastante variadas. Tais texturas, no entanto, costumam ter uma relação íntima com o conjunto de processos (naturais ou não) responsável por sua origem.

Assim, materiais colapsíveis formados a partir de sedimentos de origem eólica e fluvial apresentam textura predominantemente arenosa, já os perfis residuais têm sua textura controlada pela rocha matriz que lhes deu origem e pela intensidade dos processos intempéricos aos quais estiveram sujeitos.

Solos originados a partir de rochas sedimentares químicas e detríticas finas e rochas ígneas básicas tendem a proporcionar solos colapsíveis de textura mais argilosa, enquanto solos formados pela alteração de rochas sedimentares de textura mais grosseira e rochas ígneas ácidas tendem a apresentar textura arenosa.

Nos materiais colapsíveis formados a partir de fluxos de lama predominam as frações finas (como argilas). Já no caso de perfis colapsíveis originados a partir de aterros, a textura do perfil vai depender da textura do solo utilizado para confecção do aterro, havendo, no entanto, uma predominância de solos arenosos.

Apesar da diversidade de origem dos materiais inconsolidados já descrita, o comportamento de tais materiais (solos ou sedimentos) é bastante similar, razão pela qual é comum o uso da expressão "solo colapsível", também adotada neste artigo.

A seleção de alternativas de projeto e construção em tais materiais implica, antes de tudo na capacidade de identificá-los e a seu comportamento. No entanto, os estudos para caracterização de materiais colapsíveis têm um caráter essencialmente local o que faz com que a capacidade de representar a distribuição espacial dos mesmos como forma de prover informações que permitam a projetistas e construtores a seleção de técnicas específicas de investigação em tais áreas. A forma mais eficiente de prover essa informação espacial é a cartografia de materiais colapsíveis.

O processo de colapso dos solos provoca deslocamentos nas fundações e, como estas são elementos estruturais que tem por finalidade receber e transferir as cargas da edificação para o solo, tais deslocamentos podem causar danos importantes à edificação e aos elementos de fundação.

Tanto em fundações profundas como fundações superficiais o solo deve ter resistência suficiente ou capacidade de suporte para receber os carregamentos distribuídos oriundos dos elementos de fundação.

Nos solos colapsíveis, o umedecimento do solo (possibilidade mais comum de ocorrência de colapso), provoca uma alteração na estrutura do solo, reduzindo sua capacidade de suporte resultando deslocamentos nos elementos de fundação. Tendo sido projetado corretamente, o elemento estrutural de fundação não sofre dano algum,

havendo apenas o seu deslocamento, o que pode provocar outros danos na edificação.

Os danos maiores ocorrem nas alvenarias, lajes e coberturas. Podem ocorrer danos ao elemento estrutural se a magnitude dos deslocamentos foi muito acentuada, pois aí surgirão tensões para as quais esses elementos não foram projetados, como flexão composta e torção.

As alvenarias funcionam como elemento de fechamento. Podem ser estruturais ou apenas de vedação. Nas alvenarias estruturais, se houver deslocamentos ou recalques de fundação, estas também sofrerão seus efeitos. Podem surgir trincas e até mesmo rachaduras que prejudicam a estética da edificação e às vezes comprometer a estabilidade da estrutura, que neste caso é a própria alvenaria.

Caso a alvenaria não exerça função estrutural, os danos sofridos por ocorrência de colapso de solos têm características eminentemente estéticas, porém podem apresentar danos funcionais em dispositivos de instalações hidráulicas e elétricas e em dispositivos de fechamento como janelas e portas.

As trincas, geralmente inclinadas em ângulo de 45°, são conhecidas como trincas em “V”, ou seja, que apresentam maior abertura na sua parte superior, estreitando-se para a parte inferior.

Além das alvenarias, as lajes também podem sofrer danos, principalmente quando estão apenas apoiadas sobre as paredes ou sobre cintas de amarração. Nestes casos, surgem trincas nas proximidades do encontro das lajes com as alvenarias, ou no prolongamento das trincas existentes nas paredes.

Da mesma forma, o efeito dos recalques pode ser observado nas coberturas, com ocorrência de deformações nos panos dos telhados, com reflexo também em outras paredes não atingidas diretamente pelo recalque da fundação.

Em casos extremos, especialmente quando se tratam de construções antigas e com projetos de fundações inadequados, os danos podem ser tão extensos que a edificação pode ruir.

As intervenções visando à redução de danos a edificações devidos ao processo de colapso podem ser divididas em duas categorias, mudanças em projetos de fundações e mudanças em processos construtivos.

As mudanças de projeto dizem respeito à escolha de tipos de fundações mais apropriados para cada situação. Em geral, se pode dizer que elementos de fundação com maiores diâmetros para estacas cravadas, diminuindo a possibilidade de flambagem na cravação, enquanto para estacas moldadas in situ a adoção de menores diâmetros associados ao lançamento de brita ou de concreto pouco plástico no fundo da escavação, seguido de seu apiloamento, confere a estas estacas um considerável aumento da resistência de ponta, mesmo quando do umedecimento do solo de fundação.

Para minimizar os efeitos da infiltração da água no solo colapsível são recomendados: projetar um sistema adequado de drenagem de águas pluviais; impermeabilizar a área perimetral das casas, com a largura mínima de 1,5 m; e instalar redes de esgoto e de água no interior de dutos de proteção.

Para reduzir a possibilidade de vazamentos em redes de água ou esgoto algumas medidas podem ser tomadas tais como: instalar tais redes no interior de dutos de proteção; remoção (por escavação) de uma camada de solo mais espessa que a necessária à implantação da rede e sua posterior compactação no fundo da vala; substituição das tubulações antigas de fibrocimento ou cerâmica vermelha por tubulações de PVC.

Em qualquer situação, a adoção de medidas de redução de danos pressupõe a capacidade de identificação da ocorrência de solos colapsíveis e representar tal ocorrência na forma de cartas, de tal maneira que os profissionais interessados possam tomar as medidas necessárias.

Nas últimas décadas, alguns critérios e ensaios foram desenvolvidos para o estudo dos solos colapsíveis em campos experimentais e em laboratórios, sendo cada um deles baseado em grandezas diferentes. Os critérios disponíveis são limitados e são geralmente restritos aos solos para os quais foram obtidos ou solos com propriedades muito similares.

Alguns métodos baseiam-se na avaliação de índices físicos e limites de consistência através de ensaios de caracterização, enquanto outros estão baseados em ensaios específicos de compressibilidade e resistência.

Os ensaios e critérios para identificação do colapso e das características de um solo colapsível em

laboratório possibilitam estudar parâmetros específicos como a composição química e o arranjo estrutural dos solos e a suscetibilidade ao colapso.

Os métodos aplicados em laboratório para mensuração do colapso auxiliam na caracterização do colapso com ensaios que retratam condições ideais. Já a aplicação dos ensaios e dos critérios de campo busca a estimativa do colapso em escala real.

A cartografia dos solos colapsíveis pode ser realizada de diferentes formas de acordo com a natureza da informação disponível (ou a capacidade de produção de tal informação) e a finalidade do estudo. Como consequência destas condições, os produtos cartográficos obtidos serão diferentes quanto à escala e permitirão diferentes abordagens no enfrentamento do problema.

Quando o nível de detalhe das informações disponíveis é menor, e se tem os materiais inconsolidados cartografados em escala regional, é comum que a caracterização de tais materiais se restrinja à granulometria, índices físicos e limites de consistência.

Em tal situação a alternativa viável é a produção de cartas de suscetibilidade em escalas regionais (entre 1:100.000 e 1:50.000) que destaquem as ocorrências dos materiais inconsolidados colapsíveis, chamando a atenção de projetistas e sociedade em geral para as áreas onde projetos deverão requerer levantamentos de campo mais detalhados para adoção de critérios para projetos de fundações e de técnicas construtivas mais cuidadosas em aterros, pavimentos, e obras apoiadas em fundação superficiais.

Quando, além de dados de caracterização dos solos, há disponibilidade de informações oriundas de sondagens (especialmente sondagens de simples reconhecimento com realização de ensaios SPT), de ensaios de campo ou informações daí derivadas, a associação de tais informações com dados de caracterização de solos e levantamentos de campo permite a elaboração de cartas em maiores escalas (entre 1:25.000 a 1:10.000) abrangendo áreas urbanas e de expansão urbana.

Nestas cartas, além da delimitação de unidades de materiais inconsolidados com previsão de comportamento colapsível, podem ser incluídas informações a respeito da espessura de tais materiais e de classes de colapsividade em função

da espessura dos mesmos e de variações em suas propriedades. Cartas assim produzidas podem ser usadas não só para alertar o meio técnico para a existência de materiais potencialmente colapsíveis no subsolo como para orientar escolha de parâmetros de projetos de fundações profundas, além de permitir ao poder público a proposição de diretrizes de projeto e construção diferentes para áreas com características específicas.

A terceira opção é a cartografia de risco de colapso de solos. Neste caso, além das informações anteriormente citadas, é preciso contar com ensaios de campo mais extensos e detalhados, tais como levantamentos geofísicos e ensaios que simulem a ocorrência do colapso no campo (tais como provas de carga, ensaios de cone, dilatômetro, pressiómetro, ou outros) além de informações a respeito das condições antrópicas que possam potencializar a ocorrência do colapso, tal como estado de conservação e potencial de ruptura de redes de utilidade (especialmente redes de água e esgoto).

Cartas de zoneamento ou cadastramento de risco produzidas com base nestas informações devem ser elaboradas em escalas mínimas de 1:10.000, sendo recomendáveis escalas superiores à 1:5.000 para retratar com eficiência os riscos. A partir destes documentos, projetistas e construtores terão maior conhecimento das variáveis envolvidas no processo o que pode resultar em obras mais confiáveis, o poder público terá informações valiosas para atuar na redução de riscos, os seguradores terão elementos de avaliação mais eficazes.

## CONCEITOS BÁSICOS

### Caracterização do comportamento colapsível

Etapa fundamental no processo de cartografia de materiais colapsíveis, a caracterização do comportamento colapsível pode ser feita de duas formas básicas, em laboratório e no campo. Os critérios de caracterização e classificação de solos colapsíveis baseados em ensaios de laboratório podem ainda ser divididos em dois grupos: critérios baseados em ensaios de caracterização e critérios baseados em ensaio de resistência.

Os métodos aplicados em laboratório para mensuração do colapso auxiliam na caracterização do colapso com ensaios que retratam condições

ideais. Já a aplicação dos ensaios e dos critérios de campo busca a estimativa do colapso em escala real.

A identificação do comportamento colapsível em laboratório pode ser feita a partir de investigações de sua estrutura e composição (ensaios de microscopia eletrônica e de transmissão, difratometria de raios X, ensaios de dispersão, caracterização química e granulométrica do solo) ou de ensaios de índices físicos e limites de consistência.

No primeiro caso o principal objetivo é a identificação do estado do solo em diferentes condições, sendo mais comum o estudo de seu estado antes e após o colapso. No segundo caso o que se pretende é obter relações entre índices descritivos do solo que permitam a previsão do comportamento colapsível. Para a cartografia de materiais colapsíveis a segunda opção é mais interessante, pois tem maior potencial de previsão de comportamento com menor custo para realização dos ensaios.

Dentre os critérios de identificação baseados em ensaios de resistência, há evidente predominância daqueles baseados em ensaios edométricos sobre os critérios baseados em ensaios de compressão triaxial. No caso dos ensaios edométricos pode-se ainda considerar duas alternativas: os ensaios denominados duplos (corpos-de-prova diferentes ensaiados com e sem umedecimento) classificando o comportamento colapsível segundo proposta de Reginatto e Ferrero (1973), e os ensaios simples (corpos-de-prova carregados até uma tensão de interesse e posteriormente umedecidos) sendo o colapso classificado segundo Jennings e Knight (1975).

O uso de ensaios de resistência (uniaxial ou triaxial) dos materiais apesar de extremamente útil para compreensão do processo de colapso apresenta limitações de uso para cartografia de materiais colapsíveis, uma vez que as amostras ensaiadas geralmente representam porções limitadas do maciço estudado, razão pela qual a adoção de tais critérios deve estar apoiada em levantamentos prévios de campo e escritório que garantam a representatividade das amostras ensaiadas.

Tal representatividade pode ser buscada identificando-se áreas-chave para amostragem dos materiais com base em levantamento prévios de zoneamento do meio físico apoiados na técnica de avaliação do terreno (identificação de landforms e sua relação com perfis de alteração)

ou em outras técnicas que permitam representar adequadamente a variabilidade do meio natural.

O uso de ensaios de campo para identificação de comportamento colapsível geralmente permite também a quantificação do colapso, o que os torna muito interessante para cartografia de materiais colapsíveis. Dentre os mais comuns podem ser citados os ensaios SPT, CPT e ensaios derivados, ensaios pressiométricos, provas de carga (em placa ou sobre estaca), uso de protótipos (paredes, muros, sapatas), e uso de equipamentos desenvolvidos especialmente para tal finalidade. Contribuições interessantes têm sido propostas tentando-se relacionar levantamentos geofísicos com a caracterização dos perfis de materiais colapsíveis e seu comportamento mecânico avaliado com base em ensaios de campo ou de laboratório.

Se bem assimiladas na cartografia de materiais colapsíveis, as informações advindas de ensaios de campo podem ser de grande utilidade pois permitem à cartografia o zoneamento não só de classes de materiais como de classes de comportamento dos mesmos. Assim como no caso dos ensaios de resistência em laboratório, para que tal associação seja confiável a realização dos ensaios de campo deve estar associada a áreas-chave para permitir a representação espacial com confiabilidade.

## Cartografia de materiais colapsíveis

Em função da diversidade de abordagens e escalas já citadas a cartografia de materiais colapsíveis pode ser apresentada de diversas formas.

Nas situações mais comuns, aqui denominadas “cartas de materiais colapsíveis de finalidade geral”, o objetivo principal é informar a existência de materiais com comportamento colapsível na área em estudo. Tal representação geralmente é feita em escalas pequenas a médias (menores ou iguais a 1:50.000) e consiste basicamente numa carta de materiais inconsolidados na qual os comportamentos geotécnicos esperados para cada material são descritos na legenda da carta ou tem texto explicativo em anexo a esta. Também pode acontecer que tais cartas destaquem os materiais inconsolidados colapsíveis e os distingam dos demais (não colapsíveis).

Neste tipo de carta a caracterização do comportamento colapsível geralmente é descrita com

base em ensaios de laboratório, especialmente ensaios de caracterização, e os critérios de identificação são baseados em índices físicos e limites de consistência dos materiais.

As “cartas de materiais colapsíveis de finalidade específica” correspondem à segunda classe de cartas aqui considerada e incluem cartas elaboradas em escalas regionais ou de detalhe (geralmente entre 1:25.000 a 1:10.000) abrangendo áreas urbanas e de expansão urbana e têm como principal objetivo orientar os profissionais e o poder público quanto às condições dos materiais e critérios para soluções de projeto e construção.

Caso clássico deste tipo de carta são as Cartas para Fundações, as quais geralmente se baseiam em ensaios de laboratório (tanto de caracterização como de resistência) e se apóiam fortemente em sondagens de simples reconhecimento com ensaios SPT e técnicas de generalização espacial da informação (especialmente geoestatística) tanto em planta como em profundidade.

Em alguns casos tais cartas se valem de levantamentos geofísicos como apoio na delimitação de perfis de materiais colapsíveis, relacionando informações de resistividade elétrica e propagação de ondas de radar para geração de perfis e caminhamentos geofísicos com o comportamento das camadas do perfil do solo interpretado em função das sondagens mecânicas e ensaios.

O terceiro tipo de carta de materiais colapsíveis corresponde às cartas de risco de colapso de solos, as quais compreendem a associação de informações relativas ao comportamento mecânico dos materiais com informações locais acerca de condicionantes desencadeadores do colapso que não sejam diretamente dependentes do comportamento do solo.

Considerando que a ocorrência de colapso comumente está associada ao umedecimento de solo em função de vazamentos em redes de utilidades ou sistemas de armazenamento de fluidos, ou à influência de carregamentos dinâmicos, a cartografia de risco de materiais colapsíveis só é possível com a caracterização do risco associado às atividades humanas. Além de identificar condições potenciais de desencadeamento do colapso por umedecimento do solo associado a tais ações, a cartografia de risco de colapso inclui a avaliação (absoluta quando possível, ou relativa) dos danos

previstos na edificação ou conjunto de edificações bem como do montante de recursos a ser aplicado para reparo dos danos.

Para que possam representar adequadamente o risco essas cartas devem ser elaboradas em escalas maiores que 1:10.000 quando se tratar de zoneamento de risco e em escalar ainda maiores (ao menos 1:2.000) quando o objetivo for o cadastramento de riscos.

## MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE COLAPSIDADE DE MATERIAIS GEOLÓGICOS

Ferreira e Fucale (1999), com base em ensaios de campo (ensaios SPT em sondagens de simples reconhecimento) e laboratório (ensaios edométrico), avaliaram o comportamento colapsível de solos de quatro municípios do Estado de Pernambuco. Os autores destacam a importância da sucção matricial no comportamento colapsível, mostrando que condições de altos valores de NSPT estavam relacionadas a baixos teores de umidade ou altas sucções, e que o comportamento colapsível para tais solos se manifestava em condições específicas de carregamento no campo (comportamento condicionalmente colapsível).

Oliveira e Lollo (2001) realizaram um zoneamento de materiais colapsíveis para a área urbana de Ilha Solteira (SP) tendo como base a identificação de materiais inconsolidados a partir dos landforms identificados na área e o registro de processos de colapso já ocorridos. Os elementos de terreno identificados mostraram forte relação entre perfis de materiais inconsolidados arenosos finos com alta porosidade, espessuras superiores à 20m, e comportamento colapsível, localizados nos topos de colinas amplas, suave onduladas, identificados nos divisores de água na área.

Ferreira et. al. (2002), caracterizaram o colapso a partir de ensaios de campo realizados com o expansocolapsômetro e ensaios edométricos simples e duplos em laboratório em Palmas (TO). Segundo os autores, foi possível verificar que sob a ação de peso próprio das camadas de solo os potenciais de colapso são menores e que o expansocolapsômetro foi eficiente na identificação do colapso em profundidades maiores que 3m e que os potenciais de colapso obtidos no campo são 83 % dos obtidos em laboratório.

Guimarães, Camapum de Carvalho e Pereira (2002), avaliaram a colapsividade de solos porosos do Distrito Federal combinando ensaios de laboratório (edométricos, de caracterização, obtenção da curva característica pela técnica do papel filtro, e ensaios de microscopia eletrônica de varredura). Os autores concluíram que métodos baseados em ensaios de caracterização podem ser aplicados em avaliações preliminares de comportamento colapsível, enquanto as análises feitas utilizando os ensaios edométricos devem ser realizadas considerando-se a inundação e o carregamento aplicado em cada estágio de carga.

Rodrigues, Souza e Lollo (2002), combinaram ensaios de campo (provas de carga em placa) e de laboratório (ensaios edométricos duplos) com medidas de recalques monitorados em dois protótipos de sapatas corridas, com a finalidade de estabelecer, a cada estágio de carregamento, a magnitude dos recalques por colapso em função da profundidade das amostras. Os potenciais de colapso obtidos permitiram a classificação de do solo como condicionalmente colapsível em 80% dos casos e como verdadeiramente colapsível nos outros 20%. A compactação do solo na base das sapatas permitiu reduzir os recalques em 50%.

Santorio e Diniz (2002) relacionam dados de levantamentos de potencial espontâneo segundo alinhamentos na área urbana de Taubaté (SP) com valores de  $N_{SPT}$  obtidos de sondagens de simples reconhecimento realizadas na área para diagnosticar a natureza dos recalques ocorridos na área. Os resultados mostraram que as edificações com ocorrências de colapso devidas à ruptura da rede de esgoto tinham seus elementos de fundação apoiados em camadas do subsolo que apresentavam baixos valores de  $N$  e valores negativos de  $SP$  (potencial espontâneo) que indicavam a presença de depósitos de textura arenosa e estrutura porosa.

Smith e Devine (2002) utilizaram dados de ensaios pressiométricos pré-furo para prever o recalque por colapso de materiais de granulometria variada (desde solos argilosos até depósitos de cascalho) em sete localidades de três estados dos Estados Unidos com vistas a projetos de fundação rasa. Os autores puderam identificar três níveis de recalque (pré-colapso, durante o colapso, e pós-colapso) e o confronto dos recalques previstos com aqueles posteriormente medidos em campo

mostraram variações insignificantes (máximo de 10% para recalques da ordem de 250 mm).

Su e Zhu (2002) aplicaram análise multivariada para caracterizar os perigos geológicos relacionados à implantação de uma rodovia na China considerando um conjunto de fatores considerados importantes na caracterização dos perigos geológicos. Os resultados mostraram que dentre os fatores considerados o comportamento colapsível das camadas de loess na área foi determinante para compor as condições que resultavam em áreas com os níveis de perigos geológicos mais expressivos.

Benkadja (2006) avaliou a ação de hidrocarbonetos oriundos de vazamentos de tanques de armazenamento como fluidos de umedecimento no desencadeamento do colapso e comparou a intensidade do colapso devido ao umedecimento do solo com água e com hidrocarbonetos a partir de ensaios simples de adensamento, segundo proposta de Jennings e Knight (1975), verificando maiores recalques quando o solo foi umedecido com água.

Rodrigues (2007) modelou as deformações por colapso devidas à ascensão do lençol freático na área de influência do reservatório de Três Irmãos (SP) valendo-se de ensaios de campo e laboratório prévios, de dados de monitoramento recalques em edificações na área, e ensaios com sucção controlada, realizados com vistas a caracterizar o comportamento não saturado do solo. O autor conclui que as deformações por colapso aumentaram com a redução da sucção (sem saturação), que os colapsos mais intensos ocorriam em condições de submersão gradual do solo, e que muitas das deformações por colapso ocorridas se deram sob a ação do peso-próprio do solo.

Rodrigues e Lollo (2007) discutem a influência do esgoto doméstico na ocorrência de colapso com base em ensaios de laboratório (edométricos simples e duplos), parâmetros físicos e químicos do esgoto percolado, e avaliação da microestrutura do solo via microscopia eletrônica de varredura e de variações na composição do mesmo via ensaios de energia dispersiva. Os autores concluem que a presença de sódio na composição de sabões e detergentes existentes no esgoto doméstico tem influência significativa no processo de colapso, independentemente de condições de pH e viscosidade do fluido.

Gutierrez, Nóbrega e Vilar (2009) discutem a influência da microestrutura de um material residual argiloso em seu comportamento colapsível. O comportamento colapsível foi caracterizado a partir de ensaios edométricos simples e duplos e correlacionado com a estrutura interna do solo, a natureza dos poros e sua porosidade interconectada, indicando influência da variação da estrutura com a profundidade no comportamento colapsível do material.

Zhang, Zhang e Qi (2010) avaliaram a colapsibilidade de um depósito quaternário de loess na China sob a ação de peso próprio utilizando ensaios de laboratório e de campo (em cava) visando determinar os graus de saturação do material por imersão. Os resultados mostraram menores taxas de deformação (sem recalques por colapso) nos ensaios de campo durante a imersão e deformações mais intensas após a imersão fatos que os autores atribuem à estrutura interestratada dos depósitos (com alternância de lentes mais arenosas e mais finas).

Lollo et. al. (2011) correlacionam potenciais de colapso definidos a partir de ensaios de laboratório para diferentes perfis de alteração de solos segundo a profundidade com resultados de sondagens elétricas verticais que foram interpretados com apoio em ensaios SPT e CPT realizados na área urbana de Ilha Solteira (SP). Os resultados mostraram relação entre o comportamento condicionalmente colapsível dos materiais e a variação da resistividade elétrica com a profundidade, indicando bom potencial de uso de levantamentos geo-elétricos para identificação preliminar de camadas do subsolo com comportamento colapsível de forma a orientar amostragem e realização de ensaios de laboratório.

Os exemplos apresentados nesse tópico dão uma ideia da diversidade de alternativas possíveis para caracterizar o comportamento colapsível de materiais inconsolidados. A escolha entre uma ou alternativa depende do interesse da carta a ser produzida, porém se verifica que algumas abordagens são mais comuns.

Dentre os ensaios de laboratório, é comum o uso de ensaios de caracterização para obtenção de classificações expeditas de materiais colapsíveis e de ensaios edométricos quando se pretende classificações mais confiáveis que correlacionem condições de campo dos materiais com solicitações previstas (tensões de projeto ou tensões devidas a peso próprio).

No caso dos levantamentos de campo, é muito comum o uso de dados de sondagens de simples reconhecimento, especialmente ensaios SPT. Tal uso se justifica em função da grande tradição de uso de dados de ensaios SPT em projetos de fundações, da relativa simplicidade e baixo custo da técnica, além da possibilidade de uso de sondagens pré-existentes em muitos locais.

## MAPEAMENTO DE MATERIAIS COLAPSÍVEIS

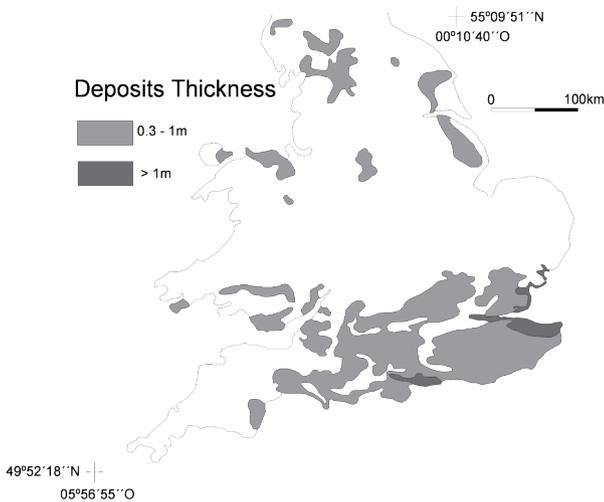
### Cartas de materiais colapsíveis de finalidade geral

Nessa categoria são incluídas as cartas produzidas em menores escalas e que têm por objetivo representar a ocorrência de materiais colapsíveis e descrever suas principais características.

Jefferson et. al. (2002) apresentam um estudo comparativo do comportamento dos materiais loéssicos identificados na Grã-Bretanha e na Bulgária e discutem as similaridades e as diferenças entre tais materiais.

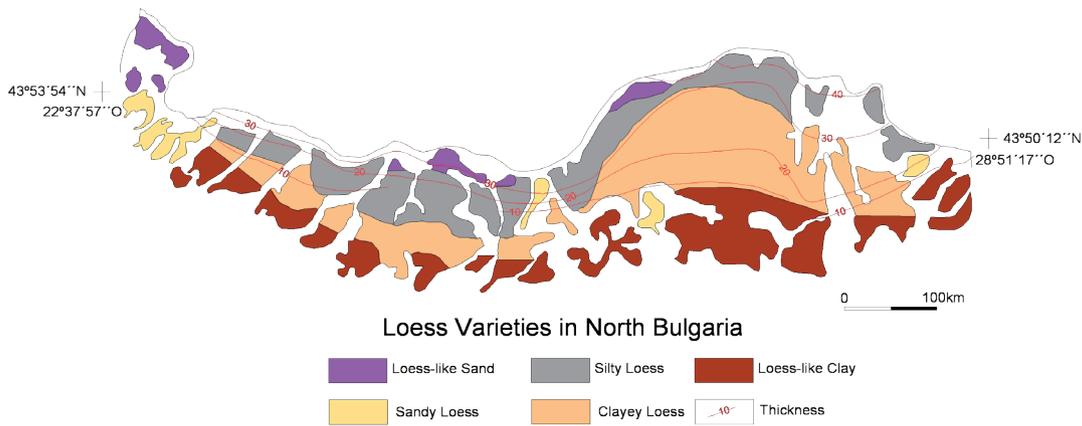
Os materiais foram caracterizados segundo sua natureza, distribuição, e controle geomorfológico. O estudo do comportamento enfatizou o processo de colapso por se tratar do principal perigo geológico nas áreas.

Os depósitos de loess britânicos tem sua origem em depósitos glaciais finos e ocorrem em áreas limitadas à região sul do território (Figura 1) e são bastante homogêneos em termos de composição e granulometria, apresentando texturas finas (siltos-argilosos). Nesses materiais o colapso ocorre em condições mais severas de sobrecarga (geralmente acima de 200 kPa quando umedecidos).



**Figura 1** - Ocorrências de depósitos de Loess colapsíveis na Grã-Bretanha. Modificado de Jefferson et. al. (2002).

Os depósitos loéssicos mapeados na Bulgária têm origem tipicamente fluvial sendo encontrados na porção norte do território. Os materiais exibem grande variabilidade, mostrando mudanças bruscas em distâncias relativamente pequenas. A textura dos materiais varia desde francamente arenosa até francamente argilosa (Figura 2), e o comportamento colapsível também é variado, havendo ocorrência de colapso sob ação de peso próprio (materiais mais grosseiros) e processos de colapso devidos a sobrecargas variadas (desde 100 até mais de 300 kPa).



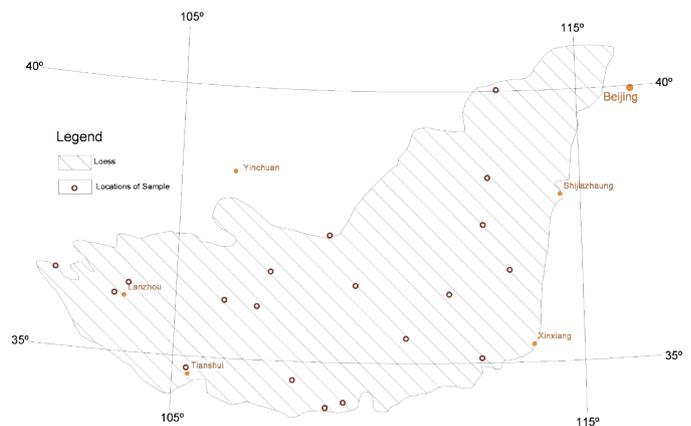
**Figura 2** - Depósitos de Loess colapsíveis no norte da Bulgária. Modificado de Jefferson et. al. (2002).

Gao (2002), considerando as vastas áreas do território Chinês com ocorrências de materiais colapsíveis, apresentou uma síntese dos conhecimentos à época, contendo informações a respeito das características microestruturais, composicionais, propriedades físico-químicas e geotécnicas dos depósitos de Loess naquele país.

Segundo o autor, tais materiais exibem comportamento colapsível até profundidades de 20m e podem ser divididos em duas categorias, materiais colapsíveis sob ação de peso próprio e aqueles colapsíveis com aplicação de sobrecarga.

O mapa apresentado delimita a ocorrência do Plateau Loéssico na China (Figura 3) e indica os locais de amostragem para ensaios de laboratório. Os depósitos de loess na China apresentam comportamento predominantemente colapsível e foram classificados pelo autor em quatro categorias: alta,

média, baixa suscetibilidade e não suscetíveis, no entanto o mapa não delimita as áreas de ocorrência destas classes.



**Figura 3** - Distribuição dos depósitos de loess colapsível na China. Modificado de Gao (2002).

## Cartas de materiais colapsíveis de finalidade específica

Rodrigues e Lollo (2002) apresentam um zoneamento de materiais colapsíveis para a área urbana de Ilha Solteira (SP) com ênfase nas áreas de aterro situadas na porção sul da área (Figura 4). Tais aterros não foram lançados e compactados adequadamente, gerando camadas de materiais colapsíveis de origem antrópica.

Os autores realizaram ensaios edométricos em amostras indeformadas obtidas de poços de inspeção. O potencial de colapso foi definido com base na proposta de Luttenegger e Saber (1988) com o uso de ensaios duplos, sendo os materiais classificados nas categorias alto, moderado e leve potencial.

Os perfis de materiais colapsíveis foram inicialmente identificados com base em avaliação do terreno ao nível hierárquico elemento de terreno. As porções mais elevadas no relevo (topos de colinas e terço superior com perfil convexo) apresentaram os perfis mais espessos (espessuras maiores que 20m para os topos e menores que 12m para as encostas convexas) exibindo comportamento naturalmente colapsível, enquanto as áreas de encostas côncavas e retilíneas exibiram perfis menos espessos (raramente superiores à 6m) e baixos valores de potencial de colapso.

Nas áreas de aterro o alto potencial colapsível se deveu mais ao estado fofo dos materiais compactados com baixa energia que às propriedades intrínsecas dos depósitos.

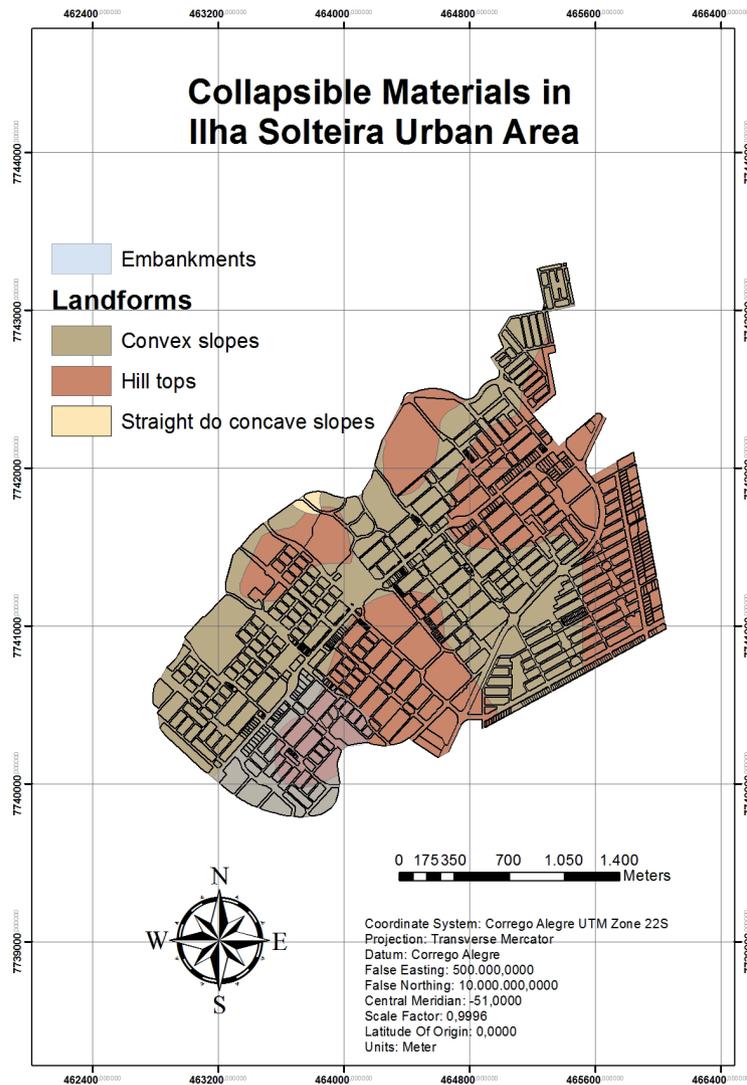
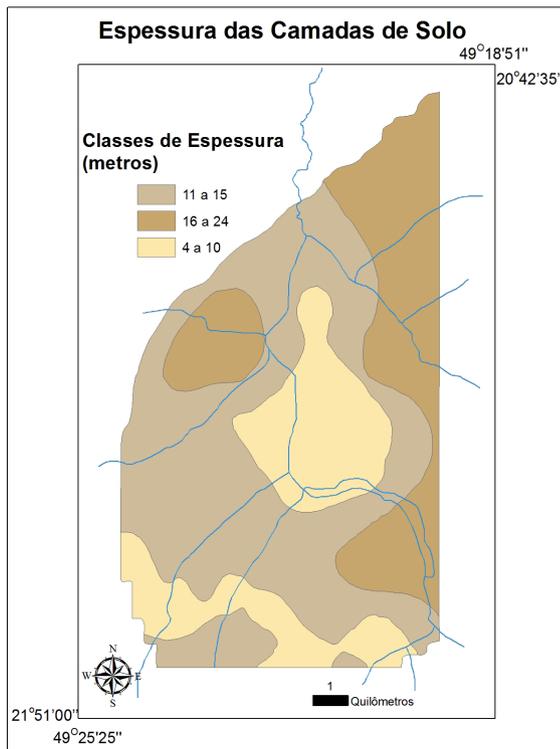


Figura 4 - distribuição espacial dos perfis de solos colapsíveis na área urbana de Ilha Solteira (SP). Modificado de Rodrigues e Lollo (2002).

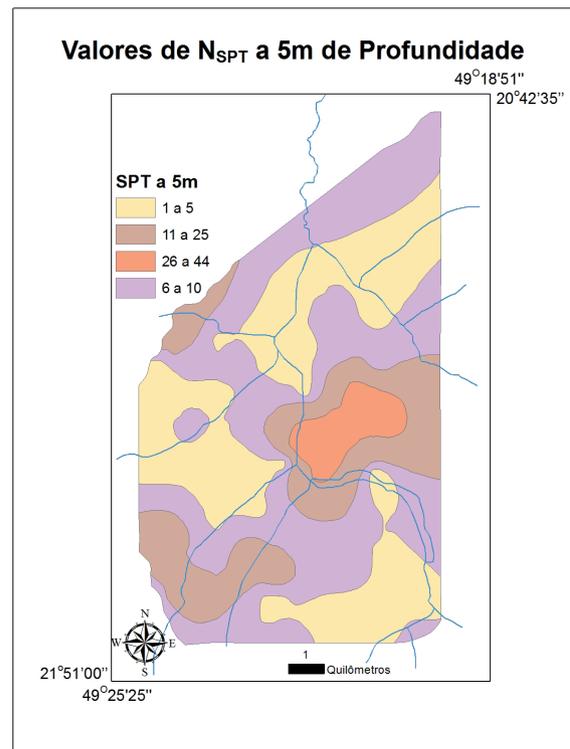
Augusto Filho e Ridente Júnior (1999) se valeram de krigagem de dados de sondagens de simples reconhecimento e ensaios SPT oriundos de 64 locais prospectados para projetos de fundações na área urbana de São José do Rio Preto para elaborar cartas contendo representações das espessuras de solos da área (Figura 5a) e de resistência à penetração segundo número de golpes do SPT (Figura 5b).

A abordagem inicial visava correlacionar os dados regionalizados com o processo erosivo na

área de forma a elaborar um plano de controle de erosões. Apesar desta abordagem, o estudo permitiu interpretações voltadas para a área de fundações, já que os resultados mostraram a predominância de baixos valores de compacidade para os materiais inconsolidados segundo os resultados de SPT (80% da área apresentando valores de  $N_{SPT}$  menores que 10 golpes na profundidade de 5m) o que levou os autores a indicarem a utilização de fundações profundas em obras que implicassem maiores carregamentos nas camadas do subsolo.



5a - Espessura das camadas de solo.



5b - Valores de NSPT a 5m de profundidade.

**Figura 5** - Compartimentação geotécnica de São José do Rio Preto (SP). Modificado de Augusto Filho e Ridente Júnior (1999).

Mendes e Lorandi (2002) elaboraram uma carta para fundações rasas como subsídio para o planejamento urbano em São José do Rio Preto (Figura 6). Os autores se basearam em dados de sondagens de simples reconhecimento (profundidade do nível d'água e índice  $N_{SPT}$ ) associados a declividades dos terrenos e informações de ensaios de penetração de cone (CPT).

Com base nestes quatro atributos foram definidas as classes de adequabilidade: favorável (os quatro atributos favoráveis); moderada (80% ou

mais dos atributos classificados como favorável ou moderado); severa (15% dos atributos classificados como moderado e favorável e no máximo 15% classificados como restritivo); e restritiva (20% dos atributos classificados como favorável, moderado, e severo).

A carta mostra grandes porções da área urbana com ocorrência de materiais colapsíveis, com mais de 70% da área classificada nas classes moderada e severa, associadas à ocorrência de índices  $N_{SPT}$  menores que 6 golpes.

### Chart of shallow foundations for residential buildings

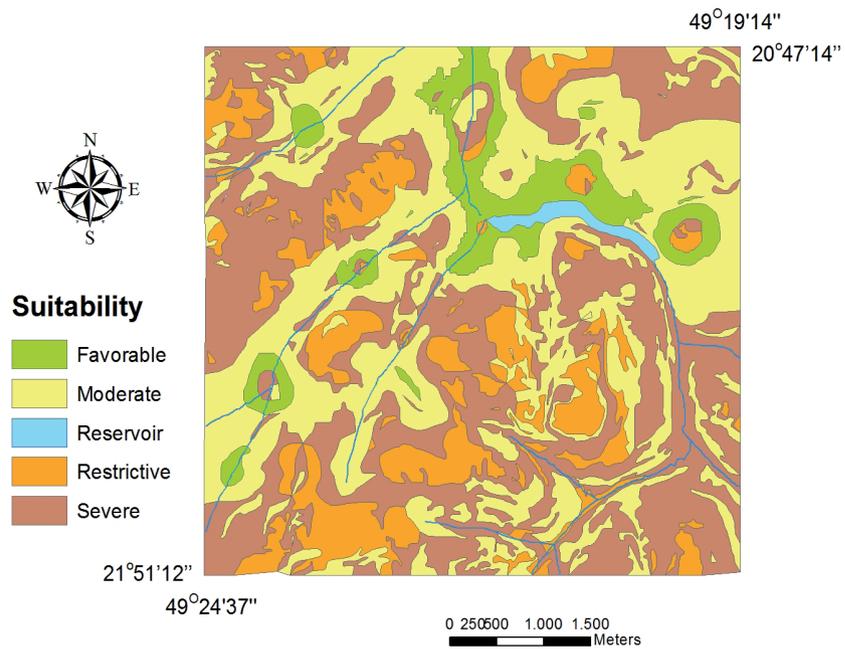


Figura 6 – Carta para fundações superficiais em para obras residenciais. Modificado de Mendes e Lorandi (2002).

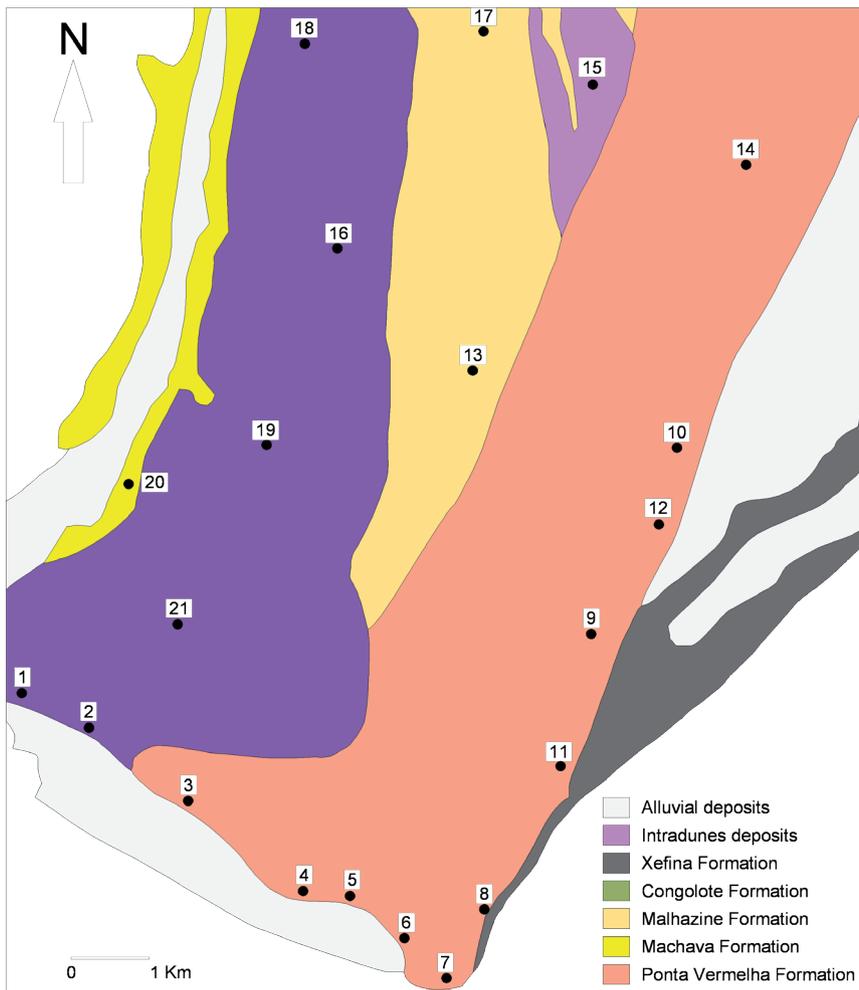


Figura 7 – Mapa geológico de Maputo e distribuição dos pontos de amostragem. Modificado de Vicente, Jermy, Schreiner (2006).

Vicente; Jermy; Schreiner (2006) apresentam a geologia urbana de Maputo (Moçambique) e a relação das unidades geotécnicas presentes com problemas geotécnicos como erosão, estabilidade de taludes, e comportamento colapsível (Figura 7), numa área com alta densidade demográfica e carente de planejamento urbano.

A compressibilidade dos materiais inconsolidados foi avaliada a partir de ensaios edométricos, sendo o potencial de colapso definido com base em ensaios duplos segundo proposta de Jennings e Knight (1975) com estágios de carregamento até 400 kPa.

Os recalques diferenciais mais acentuados se concentraram nos materiais da Formação Ponta Vermelha afetando edifícios de 8 a 10 pavimentos com deflexões horizontais de até 400mm no topo dos edifícios. A ocorrência do colapso foi relacionada principalmente á vazamentos em tanques enterrados de armazenamento de água.

## Cartas de risco

Pode-se dizer que a elaboração de cartas de risco de colapso de solos segue as mesmas etapas comuns a outras cartografias de risco. Caracterizar os materiais e o fenômeno representa a etapa inicial para estabelecimento da suscetibilidade natural para ocorrência de recalques por colapso.

Como a maior parte dos materiais colapsíveis é caracterizada como condicionalmente colapsível, ou seja, dependente do umedecimento e do nível de carregamento ao qual a camada está submetida, a tarefa mais difícil é estabelecer a suscetibilidade induzida, relacionada quase sempre a condicionantes de origem antrópica, como vazamentos em redes de utilidade (Oliveira e Lollo, 2007).

Outra dificuldade inerente ao processo é a avaliação dos danos decorrentes do colapso. Assim como em outros casos de avaliação de risco, a quantificação dos danos depende de um banco de dados de ocorrências prévias e conhecimento dos condicionantes locais a da reação das obras ao colapso. Pelas razões expostas, a cartografia de riscos de colapso de solos ainda não se encontra tão desenvolvida como a cartografia de risco para outros processos geológicos naturais ou induzidos.

Oliveira; Rodrigues e Lollo (2006) apresentam uma Carta de Risco de Colapso de Solos para a área urbana de Ilha Solteira (SP) com base nas características dos materiais inconsolidados levantadas com trabalhos de campo, ensaios de laboratório e consulta a investigações do subsolo (especialmente sondagens com ensaios SPT e CPT) para caracterizar a suscetibilidade natural dos materiais ao colapso.

Os condicionantes decorrentes da ação humana foram definidos com base nas características das redes de utilidade na área (rede de água e de esgoto) considerando a suscetibilidade de ruptura dos dutos em função do material utilizado (cerâmica, metal, concreto ou PVC), idade das tubulações e histórico de degradação e rupturas, e locais críticos do ponto de vista de solicitações internas às redes (conexões e pontos de maior vazão).

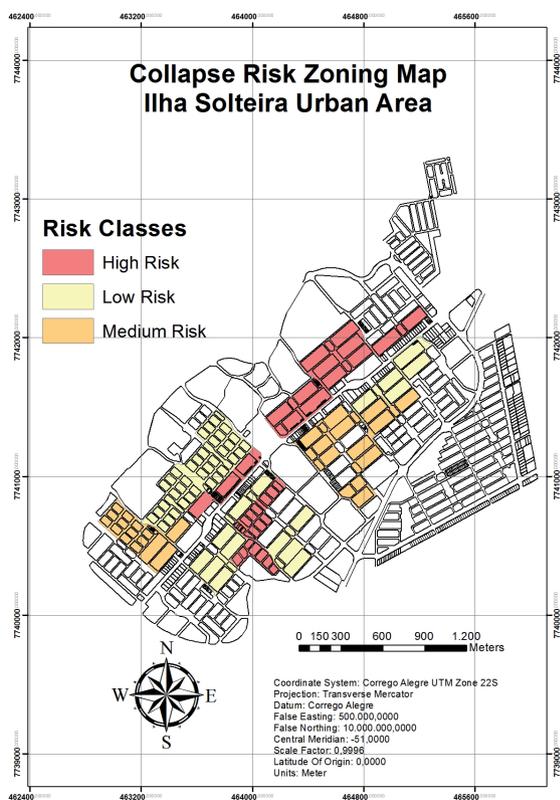
Os dados de campo e laboratório indicaram que quase toda a área urbana apresentava materiais condicionalmente colapsíveis, passíveis de colapso quando sujeitos a sobrecargas desde 50 kPa.

As redes de utilidade existentes na área, especialmente nas parcelas da área urbana ocupadas há mais tempo foram implantadas com dutos de cerâmica ou metal, materiais com vida útil mais limitada, especialmente em se tratando de redes de esgoto.

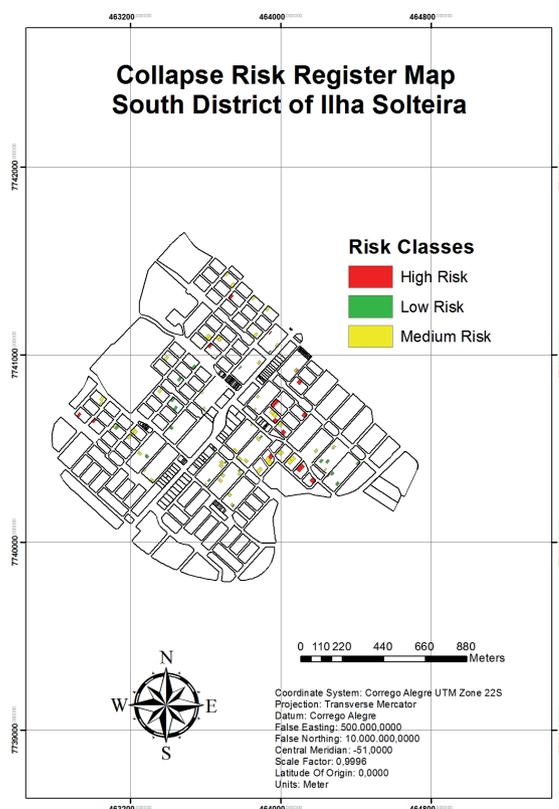
Levantamentos de campo foram efetuados nas regiões de ocupação mais antiga de forma a identificar as ocorrências de colapso pretéritas e verificar a natureza dos danos e das intervenções necessárias para recuperação dos imóveis.

Isso possibilitou o estabelecimento de classes de danos e classes de custos associados em função das obras necessárias, as quais variavam desde simples reparos na alvenaria até reforços de fundações e reconstrução de parte de imóveis.

A combinação das informações de suscetibilidade e histórico de rupturas de redes com as informações relativas aos danos permitiu a elaboração da cartografia de riscos que resultou numa carta de zoneamento de risco (Figura 8a), representando as áreas com maior potencial de ocorrências de colapso associadas a danos mais significativos, e outra de cadastramento de riscos (Figura 8b) indicando os imóveis sujeitos a danos mais significativos e maiores custos de recuperação.



8a – Zoneamento de Risco.



8b – Cadastramento de Risco.

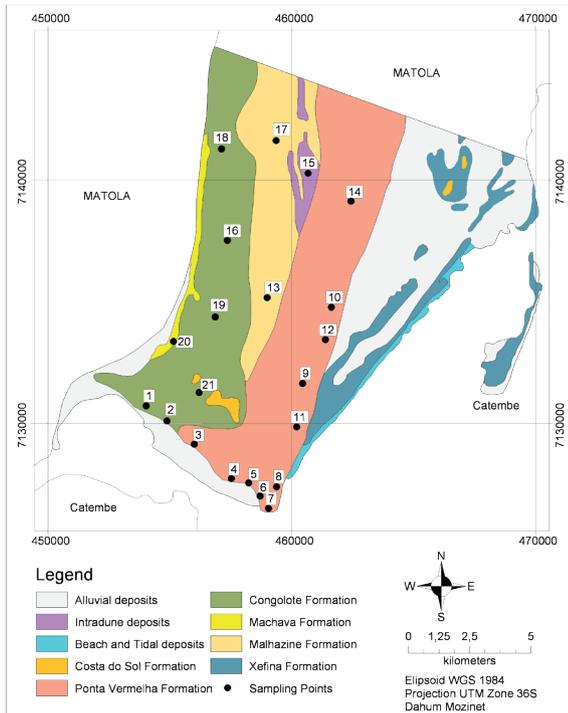
**Figura 8** – Carta de Risco de Colapso de Solos para a área urbana de Ilha Solteira (SP). Modificado de Oliveira, Rodrigues e Lollo (2006).

Vicente e Amurane (2010) estudaram os perigos e riscos devidos a processos de colapso nos materiais da Formação Ponta Vermelha em Maputo (Moçambique). O comportamento colapsível foi caracterizado a partir de cinco critérios expeditos e de ensaios edométricos aplicados a 21 amostras cuja localização pode ser observada na Figura 9a.

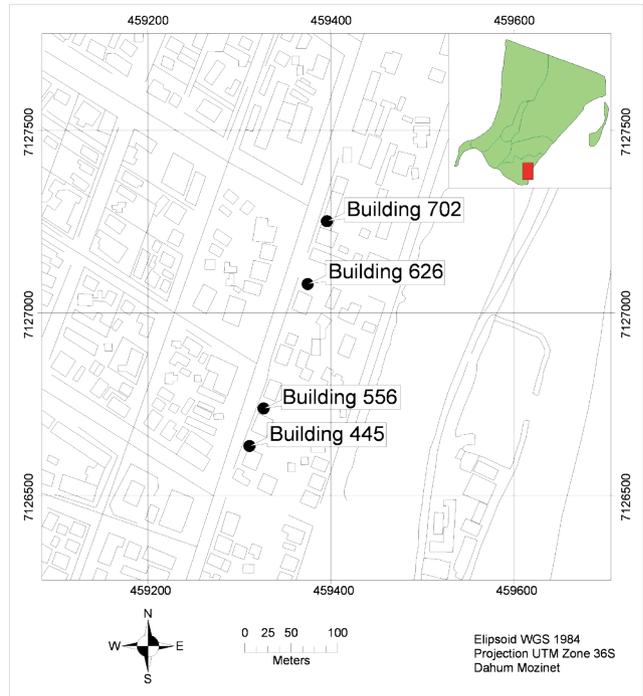
Os critérios expeditos permitiram a divisão dos materiais estudados em duas categorias, colapsíveis e não colapsíveis. Os resultados dos ensaios edométricos com carregamento até 400 kPa mostraram diferentes intensidades de colapsos para os materiais, porém todos podem ser considerados condicionalmente colapsíveis.

Algumas amostraram apresentaram colapso devido exclusivamente a alterações estruturais em níveis de carregamento mais elevados (acima de 100 kPa) enquanto outros mostraram colapsos parciais por perda de cimentação em carregamentos entre 25 e 50 kPa.

Os materiais ensaiados foram classificados em três grupos; (1) totalmente colapsíveis (5 amostras, sendo três oriundas da Formação Ponta Vermelha – pontos 3, 10, e 12); parcialmente colapsíveis (pontos 4, 5, 8, 9 e 11); e não colapsíveis. Os registros de ocorrências de danos significativos em edificações (Figura 9b) se localizam em materiais da Formação Ponta Vermelha, na área dos pontos de amostragem 6, 7 e 8.



9a – Unidades geológicas e pontos de Amostragem.



9b – Construções com registros de ocorrências.

**Figura 9** – Cartografia de Riscos para a área urbana de Maputo (Moçambique). Modificado de Vicente e Amurane (2010).

## CONCLUSÕES

As informações representadas nas cartas de materiais colapsíveis dependem dos dados disponíveis e do interesse que motivou a cartografia. Em função disso, adequações de escala e forma de representação são necessárias para aumentar o potencial de uso dos documentos.

A previsão de comportamento colapsível, como qualquer previsão de comportamento de materiais naturais, depende de informações detalhadas e confiáveis, é fundamental que os dados anteriores utilizados sejam avaliados quanto a sua confiabilidade e que dados produzidos no decorrer do projeto sejam obtidos com técnicas adequadas para garantir sua qualidade.

Quando os dados e informações existentes e obtidos são de natureza genérica as análises devem ressaltar este fato. Nesse caso, a cartografia tem a finalidade apenas de alertar para a existência do fenômeno e recomendar a natureza das informações adicionais a serem obtidas para análises mais acuradas e tomada de decisão.

A cartografia de riscos em materiais colapsíveis pode ser considerada algo incipiente até o

presente havendo necessidade de avanços no processo de caracterização dos materiais, processos, e avaliação de riscos para tal finalidade.

Correlações com levantamentos ágeis de campo, como métodos geofísicos e ensaios in situ, precisam ser desenvolvidas como alternativas para acelerar o processo de caracterização dos materiais com menor custo e ensaios de laboratório devem ser usados com critério e possibilidade de generalização de áreas-chave ou perfis tipos.

Métodos expeditos de caracterização do meio físico, como a técnica de avaliação do terreno podem ser de grande valia em zoneamentos preliminares e orientação para estudos posteriores mais detalhados.

Estudos mais avançados visando à cartografia de materiais colapsíveis requerem a montagem e frequente atualização de bancos de dados geotécnicos de forma a proporcionar o dinamismo adequado à descrição do processo, sua relação com o avanço do conhecimento, e avaliação atualizada de riscos. Só assim as informações advindas da cartografia de materiais colapsíveis poderão ser usadas com eficiência no Planejamento Urbano e na Gestão dos Recursos Naturais.

## BIBLIOGRAFIA

- Augusto Filho, O.A.; Ridente Júnior, J.L. 1999. Compartimentação geotécnica da área urbana do Município de São José do Rio Preto (SP) com base na generalização espacial de dados de sondagens a percussão. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, Anais, São Pedro. CD-ROM.*
- Benkadja, R. 2006. Influence de l'essence sur le degré de l'affaissement des sols. *In: IAEG Conference, 10, Proceedings, London. CD-ROM. Paper Number 742.*
- Ferreira, S.R.M.; Fucale, S.T.; 1999. Características de variação de volume em solos colapsíveis do Estado de Pernambuco. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, Anais, São Pedro. CD-ROM.*
- Ferreira, S.R.M.; Fucale, S.T.; Amorim, S.F.; Lacerda, W.A. 2002. Comportamento de variação de volume em solo colapsível da cidade de Palmas - Tocantins. *In: Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica, 12, Anais, CD-ROM.*
- Gao, G. 2002. The collapsing loess in China. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings, Cape Town. CD-ROM.*
- Guimarães, R.C.; Camapum de Carvalho, J.; Pereira, J.H.F. 2002. Contribuição à análise da colapsividade dos solos porosos do Distrito Federal. *In: Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica, 12, Anais, CD-ROM.*
- Gutierrez, N.H.M.; Nóbrega, M M.T.; Vilar, O.M. 2009. Influence of the microstructure in the collapse of a residual clayey tropical soil. *Bull. Eng. Geol. Environ., 68:107-116.*
- Jefferson, I.F.; Smalley, I.J.; Karastanev, D.; Evistatiev, D. 2002. Comparison on the behaviour of British and Bulgarian loess. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings, Cape Town. CD-ROM.*
- Jennings, J.E.; Knight, K. 1975. A guide to construction on or with material exhibiting additional settlement due to collapse of grain-structure. *In: Regional Conf. for Africa, 6, Proceedings, p. 99.*
- Lollo, J.A. (Org.) 2007. *Solos Colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas.* Cultura Acadêmica, São Paulo, 260p.
- Lollo, J.A.; Rodrigues, R.A.; Elis, V.R.; Prado, R. 2011. Use of electrical resistivity to identify collapsible soils in Brazil. *Bull. Eng. Geol. Environ., 66:215-223.*
- Lutenegger, A.J.; Saber, R.T. 1988. Determination of Collapse Potential of Soils. *Geotechnical Testing Journal, 11(3): 173-178.*
- Mendes, R.M.; Lorandi, R. 2002. Engineering geology mapping of the urban center area of São José do Rio Preto (Brazil) as an aid to urban planning. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings, Cape Town. CD-ROM.*
- Oliveira, C.M.G.; Lollo, J.A. 2001. Uso da Avaliação do Terreno para o zoneamento de solos colapsíveis na área urbana de Ilha Solteira (SP). *In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Anais, Brasília, CD-ROM.*
- Oliveira, C.M.G.; Lollo, J.A. 2007. Avaliação de riscos em solos colapsíveis. *In: Lollo, J.A. (Org.) Solos Colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas.* Cultura Acadêmica, São Paulo, p.: 217-238.
- Oliveira, C.M.G.; Rodrigues, R.A.; Lollo, J.A. 2006. Soil collapse risk map for Ilha Solteira, Brazil. *In: IAEG Conference, 10, Proceedings, London. CD-ROM. Paper Number 196.*
- Reginatto, A.R.; Ferrero, J.C. 1973. Collapse potential of soils and soil-water chemistry. *In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 8, Proceedings, Moscow, vol. 2.2, p. 177-183.*
- Rodrigues, R.A. 2007. Modelação das deformações por colapso devidas à ascensão do lençol freático. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 262p.
- Rodrigues, R.A.; Lollo, J.A. 2002. Evaluation of collapse process in embankment areas of municipal district of Ilha Solteira, Brazil. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings, Cape Town. CD-ROM.*

- Rodrigues, R.A.; Lollo, J.A. 2007. Influence of domestic sewage leakage on the collapse of tropical soils. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 66:215-223.
- Rodrigues, R.A.; Souza, A.; Lollo, J.A. 2002. Estudo da colapsibilidade dos solos de Ilha Solteira (SP) para projetos de fundações rasas e profundas. *In: Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica*, 12, *Anais*, CD-ROM.
- Santoro, J.; Diniz, H.N. 2001. Análise da colapsibilidade de solos a partir do Método Geofísico do Potencial Espontâneo e Sondagens Geotécnicas SPT. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 10, *Anais*, Ouro Preto. CD-ROM.
- Smith, T.D.; Devine, H. 2002. Collapsible soil settlement predictions using pressuremeter measured strains. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings*, Cape Town. CD-ROM.
- Su, S.; Zhu, H. 2002. The application of a multi-index synthetic evaluation method in the assessment of geological hazards. *In: IAEG Conference, 9, Proceedings*, Cape Town. CD-ROM.
- Vicente, E.M.; Jermy, C.A.; Schreiner, H.D. 2006. Urban geology of Maputo, Mozambique. *In: IAEG Conference, 10, Proceedings*, London. CD-ROM. Paper Number 338.
- Vicente, E.M.; Amurane, D.P. 2010. Hazard and risk associated to collapse settlement of soil formations of Maputo City, Mozambique. *In: IAEG Conference, 11, Proceedings*, Auckland. p. 1475.
- Zhang, W.; Zhang, S.; Qi, C. 2010. Research on loess collapsibility of medio-pleistocene (Q2) loess under self weight. *In: IAEG Conference, 11, Proceedings*, Auckland. p. 919.



# O ENSINO DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NOS CURSOS DE ENGENHARIA CIVIL DO BRASIL

CARLOS LEITE MACIEL FILHO

*Professor aposentado da UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. carlos.macielfilho@gmail.com*

NILSON GANDOLFI

*Professor aposentado da EESC/USP, São Carlos, SP, Brasil. ngandolfi@uol.com.br*

## RESUMO ABSTRACT

O presente estudo tem como objetivo discutir o ensino de geologia de engenharia para engenheiros civis, em nível de graduação. Uma síntese histórica da geologia de engenharia no Brasil e no mundo fundamenta o que hoje é ensinado. Há muitos programas em uso nas escolas de engenharia, não havendo uniformidade nem no conteúdo, nem na sua conexão com outras disciplinas correlatas. A medida que esta ciência se consolida e se define, principalmente pelo trabalho da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, maior uniformidade está sendo alcançada. Efeitos positivos deste ensino são observados na formação de novos engenheiros.

**Palavras chaves:** Geologia de Engenharia, Ensino, Engenharia Civil

## ENGINEERING GEOLOGY TEACHING IN THE CIVIL ENGINEERING COURSES OF BRAZIL

This study aims at discussing the teaching of engineering geology for civil engineers at the undergraduate level. A brief history of engineering geology in Brazil and worldwide founded what today is taught. There are many programs in use in schools of engineering, there is no uniformity in content nor in its connection with other related disciplines. As this science if consolidates and sets, primarily for the work of the Brazilian Association of Engineering Geology and Environment, greater consistency is being achieved. Positive effects of this teaching are observed in training new engineers.

**Keywords:** Engineering Geology, Teaching, Civil Engineering

## INTRODUÇÃO

O ensino de geologia de engenharia nas escolas de engenharia no Brasil ainda não alcançou a tradição e uniformidade que outras disciplinas apresentam. Certa uniformidade é desejável para que o currículo apresentado pelo engenheiro civil tenha um significado real. Pelo trabalho realizado pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental - ABGE há uma tendência a certa uniformização de conteúdo. Por outro lado, deve-se entender que uma disciplina ou matéria lecionada não é estática; ela deve absorver e sintetizar os avanços da ciência.

Este texto apresenta temas para reflexão e melhoria deste ensino.

## A TRADIÇÃO DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA NO BRASIL

Há duas vertentes do que hoje chamamos de geologia de engenharia: uma através das escolas de engenharia, outra através das escolas de geologia.

Segundo Vargas (in Ruiz, 1987) os primeiros documentos existentes de geologia aplicada às obras de engenharia datam de 1907, são de autoria do Eng<sup>o</sup> Miguel Arrojado Lisboa e se referem ao prolongamento da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil. Coube também a Arrojado Lisboa a criação, em 1909, do Centro de Pesquisas Geológicas da Inspetoria de Obras Contra Secas, onde juntamente com geólogos americanos efetuou inúmeros estudos geológicos para locais de barragens no Nordeste.

Em 1937, em São Paulo, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, foi criada a Seção de Geologia e Petrografia, sob a chefia do Eng<sup>o</sup> Moraes Rego, e em 1955 a Seção de Geologia Aplicada, sob a chefia do Eng. Ernesto Pichler, substituído em, 1960 pelo Eng. Murilo Ruiz. Segundo este autor, nessa época, trabalhavam em Geologia de Engenharia: Eng<sup>o</sup> Ernesto Pichler (IPT-SP), Eng<sup>o</sup> Job S. Nogami (DER-SP), Eng<sup>o</sup> José Carlos Rodrigues (EDUSP-SP), Geol. Portland P. Fox (LIGHT AND POWER - RJ), Geol. John Cabrera (LIGHT AND POWER - RJ), Eng<sup>o</sup> Francisco Xavier Pires da Rocha (ITERGS - RS), Eng<sup>o</sup> Arthur Wentz Schneider (UFRGS - RS), Prof. H. Haberlehner (SERVIX ENGENHARIA - RJ), Geol. Luciano Jacques de Moraes (TECNOSOLO) e esporadicamente Otávio Barbosa (RJ) e Geol. Paiva Neto (SP). Nas palavras de Ruiz (1987), “a partir de então a Geologia de Engenharia cresce de maneira espantosa não somente pelo próprio crescimento vertiginoso do Brasil nas décadas de 60 e 70 mas também pelo entusiasmo dos técnicos que pouco a pouco se juntavam ao grupo inicial”.

Em 1957 foram criados os primeiros cursos de Geologia no Brasil nas cidades de Porto Alegre, São Paulo, Ouro Preto e Recife, baseados em propostas de Viktor Leinz, geólogo, alemão de nascença e radicado em São Paulo, e Walter Link, geólogo americano coordenador das pesquisas da Petrobrás (Pinto, 2010). Em 1960 são diplomados os primeiros geólogos formados no Brasil, em Porto Alegre, São Paulo e Ouro Preto. A disciplina de Geologia Aplicada em Porto Alegre, ministrada por Francisco X.P. da Rocha já mencionado, incluía, na realidade, mecânica dos solos, fundações e geologia de engenharia propriamente.

Antes mesmo da criação dos cursos de geologia no Brasil havia a disciplina de Geologia Aplicada lecionada, por exemplo, no Curso de Engenharia da UFRGS, por Atos P. Cordeiro. Na Escola de Engenharia de São Carlos da USP, desde 1953 era ministrada a disciplina Mineralogia e Geologia que, em 1963 passou a Geologia Geral (1 semestre) e Geologia Aplicada (1 semestre) (Gandolfi et al., 1978). Disciplinas de geologia eram ministradas nos cursos de Engenharia de Minas, em maior profundidade que nos outros cursos de engenharia, nos cursos de História Natural, de Agronomia e de Geografia.

## A GEOLOGIA DE ENGENHARIA EM NÍVEL INTERNACIONAL

Karl Terzaghi é considerado o pai da mecânica dos solos. Conforme Vargas (1983), em 1925 ele publicou o livro “Erbaumechnik auf Bodenphysikalischer Grundlage”, depois publicado nos Estados Unidos em oito artigos sob o título geral “Principles of Soil Mechanics”. De 1925 a 1929 ele lecionou no MIT, Massachusetts Institute of Technology -MIT, tendo como assistente Arthur Casagrande. De 1930 a 1938 Terzaghi lecionou em Viena. Em 1936, Arthur Casagrande organizou a primeira Conferência Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações em Harvard. Em 1938 Terzaghi voltou aos Estados Unidos para lecionar Geologia Aplicada na Harvard Graduate School of Engineering onde permaneceu até sua aposentadoria em 1956. Em 1947 ministrou seis aulas de Geologia Aplicada na Escola Politécnica da USP.

Costa Nunes (1983) relata que um ponto enfático nos ensinamentos de Terzaghi eram as feições geológicas inclusive nos pormenores. Em numerosos casos históricos, a origem dos problemas são as feições geológicas e também guia das soluções. A geometria do modelo geotécnico vem da Geologia.

Como pode ser visto, Geologia Aplicada ou Geologia de Engenharia e Mecânica dos Solos desenvolveram-se juntas. As escolas de engenharia, no entanto, se aprofundaram mais na mecânica dos solos e em fundações. No Brasil, geólogos com maior profundidade nesta ciência, em colaboração com engenheiros, passaram a completar os conhecimentos em geotecnia.

A partir da década de 1950 desenvolve-se a Mecânica das Rochas para compor o quadro da geotecnia.

## FASES DO DESENVOLVIMENTO

Langer (1990) admite três fases no desenvolvimento da geologia de engenharia. Em 1874 introduziu-se o termo geologia de engenharia na Áustria. Na primeira fase, as pesquisas e tomadas de posição eram puramente geológicas. No Brasil esta fase perdurou alguns anos após a II Grande Guerra. Os programas de ensino seguiam esta

orientação geral, a de posições puramente geológicas.

A segunda fase desenvolve-se após a II Grande Guerra. Engenheiros projetistas e consultores constataram a necessidade de mais informações para estabelecer a correlação entre a geologia e a edificação. Formaram-se equipes envolvendo geólogos, mecanicistas de solos e de rochas, trabalhando junto com engenheiros projetistas e construtores, com o objetivo de segurança, rentabilidade e inovação técnica em construção, tanto na superfície como no subsolo (Langer, 1990).

A construção de grandes barragens sobre derrames basálticos pouco conhecidos, como Jupia e Ilha Solteira, os trabalhos do IPT, a Associação Paulista de Geologia Aplicada - APGA a qual deu origem a ABGE, marcam esta fase no Brasil. Os trabalhos de geologia dedicam-se à viabilidade e eficiência dos projetos. Os programas de ensino de geologia aplicada ou geologia de engenharia passam a mostrar a importância das feições geológicas em cada tipo de obra além do conhecimento básico da geologia. Procura-se também, nesta disciplina, assimilar a linguagem da engenharia.

Na terceira fase, acrescentou-se uma preocupação ambiental. Por isso, a Associação Internacional de Geologia de Engenharia - IAEG na Assembléia Geral de 1980, propôs que todos os "experts" do domínio da Geologia de Engenharia, por ocasião da concepção e da construção de obras, tenham toda a sua atenção voltada não somente a sua viabilidade e a sua eficácia, mas também na mesma medida, à salvaguarda do meio ambiente e a sua utilização judiciosa; e assim fazendo, que se esforcem para estabelecer previsões quantitativas sobre as conseqüências das atividades humanas e de processos naturais sobre o meio ambiente geológico, como também em termos de espaço, de tempo, de modo e de intensidade. Esta fase é o resultado, em parte, do desenvolvimento da técnica e da tecnologia industrial modernas, em parte, da tomada de consciência crescente dos problemas ambientais pela sociedade. O que fazemos agora influencia de forma poderosa a vida de milhões de homens atualmente e no futuro. Daí decorre um princípio de responsabilidade. A geologia de engenharia moderna deve aceitar esta responsabilidade (Langer, 1990).

Por isso a ABGE, bem ora usando a sigla que a identifica, passou a se chamar Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Esta fase que estamos vivendo é marcada pelos licenciamentos ambientais além dos estudos de viabilidade e eficácia. Os programas de geologia de engenharia além das características da segunda fase iniciam uma orientação sobre os impactos ambientais que as obras podem causar. O surgimento recente da Engenharia Ambiental deverá gerar uma divisão de tarefas entre engenheiros civis e ambientais.

## CONCEITO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA

Após 20 anos de atuação, a IAEG propôs uma conceituação mais abrangente para a área de atuação da geologia de engenharia, com base nas atuações dos profissionais e nas necessidades da sociedade em relação ao meio físico, em termos de orientar a ocupação, preservar o meio ambiente e propiciar o desenvolvimento equilibrado de uma região.

Assim, geologia de engenharia é uma ciência dedicada à investigação, ao estudo e à solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre a ciência da Terra e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos.

A geologia de engenharia se aplica não só à engenharia civil, mas também à engenharia de minas no tange a escavações a céu aberto e em sub-superfície e estabilidade de taludes, bem como à engenharia ambiental no que tange a disposição de resíduos e gestão ambiental. O livro "Geologia de Engenharia" editado pela ABGE, já citado, traz capítulos que contemplam esses interesses.

## PROFESSORES E ALUNOS DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA

Os professores de geologia de engenharia são, em geral, geólogos, engenheiros civis ou engenheiros de minas. Aos geólogos faltam conhecimentos da engenharia, principalmente de mecânica dos solos, fundações, obras de terra, projetos de engenharia, linguagem do engenheiro. Este profissional deverá se especializar em algum curso de

mestrado ou doutorado na área. Aos engenheiros civis faltam conhecimentos mais aprofundados dos processos geológicos, rochas, estruturas geológicas e a linguagem da geologia para entender mapas, relatórios e problemas de geologia que influenciam as obras civis. Aos engenheiros de minas, embora tenham mais conhecimentos geológicos que os civis, também necessitam algum aprofundamento dos processos geológicos e objetivos da engenharia civil. Em 1977, no Departamento de Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos/USP, foi ministrado, em nível de especialização, o “Curso de Geologia para Engenheiros Civis”, em convênio com a Associação Brasileira de Ensino de Engenharia - ABENGE e patrocínio do Deptº de Assuntos Universitário/MEC, para preparação de docentes. Disso resultou a publicação “Manual de Geologia para Engenheiros Civis” (Gandolfi, Paraguassu e Rodrigues (1977)). Ainda com essa preocupação de qualificar docentes, na mesma Escola, começou suas atividades, em 1977, o Curso de Pós-Graduação em Geotecnia (Mestrado e Doutorado) envolvendo os três campos da geotecnia (Mecânica dos Solos, Mecânica das Rochas e Geologia de Engenharia).

Além desta preparação, todo o professor de geologia de engenharia necessitará se atualizar constantemente. Os conhecimentos nesta área e principalmente as técnicas e equipamentos disponíveis crescem rapidamente. Por isso, o livro “Introdução à geologia de engenharia” (Maciel Filho, 1994) que contava com apenas um autor, na quarta edição passou a contar com mais um em atividade atualmente (Maciel Filho e Nummer, 2011). Necessita também esse professor estar ligado à sociedade científica da área, no caso, a ABGE, sendo conveniente a realização de trabalhos de geólogos junto com engenheiros para conhecimento do linguajar e de obras.

No passado recente, os ingressantes nos cursos de engenharia civil no País possuíam poucos conhecimentos de ciências da Terra o que dificultava muito o ensino de geologia nesses cursos. Atualmente, esse problema vem sendo superado pela inclusão adequada de temas relativos às ciências da Terra, como conteúdo, nas disciplinas de ciências no ensino médio. Além disso, com o crescente desenvolvimento da mídia eletrônica, tem se tornado comum a apresentação de vídeos

e mesmo programas específicos, todos muito bem ilustrados, que envolvem os problemas relativos à Terra, de forma interessante, clara e objetiva. Não há dúvida que o conhecimento dos fenômenos da natureza e suas implicações nas obras civis aguça a curiosidade e leva os alunos a buscar as necessárias explicações. Caso falte esse conhecimento prévio, o ensino da geologia para engenheiros civis fica bastante dificultado.

## TEXTOS BÁSICOS

A organização dos programas de geologia de engenharia nas diversas universidades do País contou com uma influência externa e interna.

Do exterior um livro que foi um marco na década de 1960 foi o de Krynine e Judd, *Principles of engineering geology and geotechnics*, traduzido pela Omega para o espanhol em 1961. Como um subtítulo os autores explicitam o conteúdo como: “Geologia, mecânica dos solos e das rochas e outras ciências geológicas empregadas na engenharia civil”, mostrando a ligação dessas disciplinas.

No Brasil, o primeiro livro de geologia de engenharia foi o de Chiossi (1971) “Geologia aplicada à engenharia” onde apresenta os conceitos básicos de geologia que o engenheiro precisa conhecer e aplicações principalmente em barragens e túneis, resultantes, em grande parte, de sua experiência profissional.

A Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo publicou uma série de livros relativos ao tema. São eles: “Geologia para Engenheiros Civis na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo”, de Gandolfi, Paraguassu e Bjornberg (1975); “Curso Prático de Geologia Geral”, de Paraguassu, Gandolfi e Landim(1974), completando a publicação anterior; “Ensaio de Laboratório em Geologia” de Gandolfi, Paraguassu, Rodrigues, Marino e Mattiello (1975), “Manual de Geologia para Engenheiros Civis”, de Gandolfi, Paraguassu e Rodrigues(1977); Geologia para Engenheiros Civis” de Gandolfi, Bjornberg, Paraguassu e Rodrigues (1996).

Em 1994, é publicada pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) a 1ª edição de “Introdução à geologia de engenharia” (Maciel Filho, 1994).

Em 1998, a ABGE publica um texto extremamente abrangente intitulado “Geologia de Engenharia”, organizado por Oliveira e Brito (1998), com a participação de 68 autores e 12 consultores, abarcando todos os campos de atuação da geologia de engenharia. Este passa a ser um marco da geologia de engenharia no Brasil. Em 2002, essa Associação publicou “Tecnologia de rochas na construção civil” (Frazão, 2002) e, em 2009, publicou “Geologia de engenharia conceitos método e prática” (Santos, 2009).

## A ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA DA DISCIPLINA

A posição da disciplina no currículo do curso de engenharia civil é importante para adequar o conteúdo que será ministrado. Nos cursos que conhecemos, a geologia de engenharia, aparecendo com diversos nomes, como geologia geral, geologia aplicada, antecipa a mecânica dos solos, materiais de construção, construção civil, infra-estrutura de transportes, fundações, obras de terra. É conveniente que seja mantida uma seqüência não interrompida. Nos casos em que a geologia de engenharia não é seguida no semestre seguinte por mecânica dos solos, os alunos perdem a ligação entre as duas com prejuízo do ensino.

Em alguns cursos são ministrados dois semestres, um com geologia geral, outro com geologia aplicada. O conteúdo de geologia de engenharia é suficientemente extenso para ocupar dois semestres. Por outro lado, a experiência mostrou que uma ciência básica ministrada sem uma interface com o objetivo do curso não atrai o interesse dos alunos os quais passam a não dar importância para a matéria e não conseguem assimilá-la. É conveniente, portanto, apresentar os capítulos básicos e mostrar, na seqüência, a sua aplicação em engenharia.

Quando os alunos que chegam à sala de aula sem nenhum conhecimento básico geológico, essa disciplina necessita apresentar um conteúdo sobre geologia básica, sem estender demais, pois a carga horária não será suficiente, e o mínimo necessário para o engenheiro entender a influência que o meio físico não biótico terá sobre as obras de engenharia. Com este intuito, é conveniente que o professor acentue o que é necessário que

o engenheiro saiba e o que ele deve solicitar a outro profissional, no caso, o geólogo. Esse conhecimento básico deve estar ligado às aplicações na profissão do engenheiro, pois conhecimentos geológicos não aplicáveis dispersam a atenção e o interesse pela matéria.

Como os alunos não têm o hábito de observar a natureza, é conveniente a apresentação de muitas ilustrações, exemplos e exercícios práticos.

Como na terceira fase do desenvolvimento da geologia de engenharia foi acrescentada uma preocupação ambiental, não basta mostrar a busca pela eficiência das construções, é necessário também mostrar seus impactos ambientais. É importante o engenheiro entender os diversos ambientes geológicos para avaliar os impactos sobre eles. Estes impactos podem ser classificados em necessários e não necessários, embora o limite entre os dois seja difícil de ser estabelecido. Mas certamente, entre os não necessários e que devem ser diligentemente evitados estão os desastres nas obras de engenharia civil, as obras não acabadas que já causaram o impacto mas não trouxeram nenhum benefício, as obras com curta vida útil ou sob constantes reparos e exigentes de novos materiais e energia. Estes exemplos mostram uma ligação direta entre a eficiência do trabalho construtivo, buscado desde os primórdios da geologia de engenharia, e a preservação ambiental buscada hoje.

Nos cursos em que há duas disciplinas semestrais de geologia (Geologia Geral e Geologia Aplicada) seria ideal ministrar a aplicada no último ano, abordando com mais eficiência os problemas de geologia nas obras de engenharia civil. Essa foi uma experiência bem sucedida no Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos/USP e que trouxe grande interesse e aproveitamento por parte dos alunos (Gandolfi et al., 1978).

## OBJETIVOS E TÓPICOS DO PROGRAMA DE GEOLOGIA PARA ENGENHEIROS CIVIS

Os objetivos da geologia de engenharia no curso de engenharia civil são: interpretar a linguagem e os métodos geológicos; conhecer a influência da geologia no projeto, construção e conservação de obras de engenharia civil bem como o impacto dessas obras de engenharia no ambiente geológico.

Para atingir estes objetivos são necessários conhecimentos básicos da natureza, os quais, sempre que possível, devem ser acompanhados de referências a influências em obras. O livro "Geologia de Engenharia" já citado traz capítulos sobre a Terra em transformação, minerais e rochas, solos (2 capítulos), Geologia do Brasil, maciços rochosos (3 capítulos), processos da dinâmica superficial desdobrado em clima, relevo, águas de superfície, águas de sub-superfície. Sobre os trabalhos de geologia propriamente apresenta métodos de investigação, informática, cartas de geologia de engenharia, risco geológico. Enfocando diretamente obras de engenharia civil há capítulos sobre fundações, barragens, rodovias, túneis (obras subterrâneas civis), obras marítimas, canais, linhas de transmissão e dutovias. Temas que interessam a vários tipos de obras são contemplados com capítulos sobre áreas urbanas e controle da erosão urbana, estabilidade de taludes, escavações e tratamento de maciços naturais.

De maneira geral, as experiências trazidas são de grandes obras. Há necessidade de a geologia de engenharia se voltar também para pequenas obras.

Os tópicos mais comuns nos programas de geologia para engenheiros civis podem ser elencados com os seguintes títulos: minerais formadores de rochas; rochas, suas origens, classificação, identificação, propriedades físicas, químicas e mecânicas, aplicações na engenharia civil; previsão de alterações ao longo do tempo e influências nas obras; descontinuidades e estruturas dos maciços rochosos; água de sub-superfície e sua influência na engenharia civil; solos, sua formação, classificação e posição nos maciços; geomorfologia e dinâmica da superfície terrestre, erosões, movimentos de massa e estabilidade de encostas; investigação geológica de superfície, de sub-superfície e geofísica; unidades estratigráficas, mapas geológicos e geotécnicos; condicionantes geológicos e determinação dos parâmetros a serem considerados na análise de estabilidade de obras viárias, de fundações, de barragens, de túneis, de canais, de obras portuárias, de pontes e de outras obras.

Aulas práticas podem se dedicar ao reconhecimento macroscópico de rochas mais comumente

utilizadas na construção civil, antecedidas por uma apresentação dos principais minerais formadores de rochas, além de exercícios envolvendo mapas topográficos, geológicos, perfis geológicos e diagrama de igual área (para posterior uso em mecânica das rochas). Um texto indicado é "Curso prático de geologia geral" (Paraguassu, Gandolfi, e Landim". Completam as aulas práticas os ensaios em laboratório para avaliação de rochas na forma de agregados graudos e miudos, como por exemplo, Abrasão Los Angeles, Impacto Treton, Carga Pontual, Frasco de Chapman etc., conforme o texto "Ensaio de Laboratório em Geologia" (Gandolfi et al., 1975). Entre as aulas práticas são indispensáveis os trabalhos de campo.

O ensino de geologia para engenheiros civis nos cursos de graduação é complementado com disciplinas optativas que enfocam questões mais específicas como, por exemplo, Fotointerpretação, Ensaio de Laboratório em Geologia, Mecânica das Rochas, Sedimentologia (Gandolfi et al., 1978).

## CONCLUSÕES

A experiência imprimiu uma filosofia bastante objetiva ao ensino de geologia para engenheiros. Não se pretende que o futuro engenheiro seja um geólogo ou realize atividades que são da competência deste, mas sim que esteja capacitado a contatar em nível adequado de compreensão com o geólogo, sabendo como e quando requisitar seus serviços profissionais. Para tanto, o engenheiro deve adquirir um mínimo de raciocínio geológico.

O homem tornou-se a força geológica durável e dominante; sua atuação sobre a natureza tornou-se comparável aos processos geológicos do passado; o domínio desses processos é incerto. Geólogos de engenharia conscientes colocam-se no grupo de geocientistas que reconhecem este perigo e estão dispostos em participar do seu controle e domínio.

Engenharia é a ciência da transformação. A engenharia civil promove a transformação da natureza pela apropriação dessa natureza e pela sua recreação. A geologia de engenharia é a geociência aplicada à serviço da transformação da natureza, utilizando métodos geocientíficos.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos as contribuições advindas de Andrea V. Nummer, professora de geologia de engenharia na UFSM, José Mario Doley Soares, coordenador do Curso de Engenharia Civil da UFSM, Cesar Burkert Bastos, representante da ABGE no Rio Grande do Sul e professor no Curso de Engenharia Civil da Universidade de Rio Grande, Antenor Braga Paraguassu e José Eduardo Rodrigues, professores aposentados do Departamento de Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

## BIBLIOGRAFIA

- Chiossi Nivaldo J. 1971 *Geologia aplicada à engenharia*. Grêmio Politécnico USP, São Paulo 231 p.
- Costa Nunes A.J. 1983 - Fundamentos da geotecnia segundo Terzaghi. In: ABMS - *Karl Terzaghi aspectos de sua vida e de sua obra.*: ABMS, São Paulo, p. II-1 a II-6.
- Frazão, Ely B. 2002 *Tecnologia de Rochas na construção civil*. ABGE, São Paulo. 132 p.
- Gandolfi, N., Paraguassu, A.B., Bjornberg, A.J.S. 1975. *Geologia para engenheiros civis na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos/SP.
- Gandolfi N, Paraguassu A.B., Bjornberg A.J.S., Nogueira J.B., Rodrigues J.E. 1978. A experiência de 25 anos de ensino de geologia para engenheiros na Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 2, *Anais V. 3*, São Paulo, p.73-79.
- Gandolfi N., Bjornberg A.J.S.; Paraguassu A.B., Rodrigues, J.E. 1996. "Geologia Para Engenheiros". Escola de Engenharia de São Carlos/ USP, v. 01 e 02. São Carlos/SP. 270 p.
- Gandolfi N., Paraguassu A.B., Rodrigues J.E. 1977. *Manual de Geologia para Engenheiros Civis*. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Publicação ABENGE/MEC. São Carlos/SP. 255 p.
- Gandolfi, N., Paraguassu A.B., Rodrigues J.E., Marino L., Mantiello F. 1975 *Ensaio de laboratório em geologia*. Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos.
- Krynine D. & Judd W.R. 1961. *Principios de geologia y geotecnia para ingenieros*. Barcelona: Omega, 829 p.
- Langer M. 1990. La géologie de l'ingénieur aujourd'hui: exigences et réalités. *Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de L'Ingénieur*, Paris, n.42, p. 123-126,
- Maciel Filho, C.L. 1994. *Introdução à geologia de engenharia*. UFSM - CPRM, Santa Maria/RS - Brasília/DF. 284 p
- Maciel Filho C.L. & Nummer A.V. 2011. *Introdução à geologia de engenharia*. 4ª ed. UFSM, Santa Maria/RS. 392 p.
- Oliveira A.M.S., Brito S.N.A. (Editores). 1998. *Geologia de engenharia*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo. 589 p.
- Paraguassu A.B., Gandolfi N., Landim P.M.B. -1974. "Curso Prático de Geologia Geral", Publicação 080/91 - Reimpressão - Escola de Engenharia de São Carlos/USP.. 103 p.
- Pinto I.D. 2010. Apresentação. In: Hanke, A.K. *50 anos formandos em geologia 1960*. Porto Alegre..
- Ruiz M.D. 1987. A evolução da geologia de engenharia no Brasil e suas perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA.. São Paulo. *Anais...* São Paulo. V.3. p.29-46.
- Santos, Álvaro R. 2009 *Geologia de engenharia conceitos método e prática*. ABGE, São Paulo. 208 p.
- Vargas M. - 1983. Karl Terzaghi e o Brasil. In: ABMS *Karl Terzaghi: aspectos de sua vida e de sua obra*. Rio de Janeiro: ABMS. P. I-1 a I-8.



# ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DE TÚNEIS DE PRESSÃO



IGOR MOREIRA MOTA

*MSc, Ministério da Integração Nacional, Brasília-DF, igormot@gmail.com*

ANDRÉ PACHECO DE ASSIS

*PhD, Universidade de Brasília, Brasília-DF, aassis@unb.br*

## RESUMO ABSTRACT

Os túneis de pressão possuem aplicação em diversas obras, cujo objetivo é o transporte de água. No Brasil, a aplicação dessas estruturas como parte do sistema de adução hidrelétrica vem crescendo consideravelmente, principalmente nas Pequenas Centrais Hidrelétricas. Os critérios de projeto largamente utilizados possuem, ainda hoje, base empírica, embora a evolução de métodos racionais tenha sido significativa ao longo dos últimos anos. Este trabalho traz uma revisão de alguns métodos empíricos ao longo dos anos. Faz, também, a comparação do comprimento do túnel sem suporte e o comprimento do túnel revestido com blindagem, avaliando os resultados obtidos por critérios empíricos e numéricos, evidenciando que em alguns casos as soluções empíricas podem ser conservadoras e em outros elas podem colocar em risco a segurança estrutural da obra. Por fim, algumas recomendações de projeto foram sintetizadas de forma a complementar o arcabouço de recomendações de projetos no Brasil, voltado ao projeto de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

**Palavras-chave:** Obras subterrâneas, Túneis de pressão, Critérios de Projeto.

Pressure tunnels are found in many engineering projects with water transportation purpose. The use of these structures as elements of hydraulic circuit of hydroelectric schemes is growing very much in Brazil, mainly for small power plants. However the design criteria largely used today are based in empirical methods despite the developments of rational methods in recent years. A design of support systems comparison, to define the length of unlined tunnel and the length of steel line tunnel was done, evaluating the results obtained from empirical and numerical methods, showing that, in some cases, empirical methods should be conservative and in other cases should be unsafe. Finally, some design recommendations were grouped to complement the limited framework design in Brazil, directed specifically for small power plants project.

## 1 INTRODUÇÃO

As condições topográficas de diversos países do mundo favorecem o arranjo de aproveitamentos hidrelétricos com circuito hidráulico subterrâneo. Os túneis e poços de pressão são elementos importantes nos aproveitamentos hidrelétricos e possuem grande complexidade em razão da variedade de condições geológico-geotécnicas que podem ser encontradas ao longo do comprimento.

A principal característica desses elementos é que estão sujeitos a uma pressão interna do fluido em seu interior, maior que a pressão atmosférica, e por vezes perfazem grandes distâncias.

Os túneis de pressão podem ser não revestidos, revestidos com concreto projetado, concreto moldado in loco com ou sem armadura, ou ainda, revestidos em aço. Uma combinação entre os vários tipos de revestimentos em um mesmo túnel é comum para esse tipo de estrutura.

No Brasil, diversos túneis de pressão foram construídos para geração hidrelétrica, com concentração maior na parte sul do país, onde a topografia e os vales encaixados favorecem o arranjo com circuito de geração subterrâneo. É cada vez maior a demanda por circuitos de geração subterrâneos em razão da minimização dos impactos ambientais, principalmente nas PCHs.

Embora o panorama de expansão do setor mostre crescimento de demanda por túneis de pressão, as normas e recomendações específicas para o projeto e construção desses tipos de estrutura, são ainda precárias no Brasil, e se baseiam em critérios empíricos de dimensionamento.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivos:

- Identificar os principais critérios de projeto de túneis de pressão existentes, em nível internacional;
- Comparar os principais critérios empíricos existentes com análises numéricas de forma a definir a extensão e o tipo dos diferentes suportes ao longo do comprimento do túnel e;
- Fornecer recomendações gerais para projeto de túneis de pressão para cada fase de estudo.

## 3 CRITÉRIOS DE PROJETO EM TÚNEIS SOB PRESSÃO

Hendron et al. (1989) destaca algumas decisões a serem tomadas nos projetos de túneis de pressão que são:

- O traçado do túnel, levando em consideração a topografia e o nível d'água existente;
- O comprimento dos diversos tipos de revestimento ao longo do túnel;
- O comprimento da blindagem necessária nos trechos sem o adequado confinamento;
- O tratamento do maciço durante a escavação e/ou instalação do sistema de suporte;
- O projeto do sistema de drenagem que garanta segurança durante todas as etapas ao longo da vida útil desses túneis.

Dentre essas decisões de projeto, um destaque especial deve ser dado à extensão da blindagem em aço nos túneis de pressão.

Ainda hoje as diversas normas e procedimentos de projeto sugerem dois métodos para determinar o ponto do início da blindagem:

- O primeiro baseado no critério empírico do confinamento do maciço acima do túnel de pressão;
- O segundo baseado no resultados de medida de tensão *in situ*.

### 3.1 Critérios Empíricos para Definição da Extensão da Blindagem de Aço do Túnel

Os critérios empíricos para túneis de pressão são utilizados para definir a extensão da blindagem de aço em razão do confinamento inadequado de rocha acima do túnel de pressão. O conceito de confinamento refere-se à habilidade do maciço rochoso em resistir à pressão interna em um túnel sem a necessidade de revestimento. Segundo esse conceito, um adequado confinamento evita a ocorrência de *hydraulic jacking*. É notória a importância dos critérios empíricos e o grande número de obras onde, com sucesso, essa metodologia foi utilizada nas mais variadas condições geológicas. Há de se destacar que grandes obras de engenharia, com pressões da ordem de 1000 mca de pressão interna estão em pleno funcionamento, com desempenho satisfatório.

Os critérios empíricos remontam ao início do século XX, mais precisamente por volta do ano de 1913, quando foi desenvolvido um critério de cobertura mínima para o sistema de abastecimento da cidade de Nova York (Berkey & Senborn, 1923 - citado por Brekke & Ripley, 1987). Após isso diversos autores como Dunn (1923), Bleifuss (1949), Spencer et al. (1963), Dann et al. (1964), citados por Benson (1989), Bergh-Christensen & Dannevig (1971), Stini (1974), Patterson et al. (1975), Deere (1983), Lauffer, (1985), contribuíram com o tema desenvolvendo diversas proposições para definir o cobrimento necessário aos túneis de pressão. Algumas dessas metodologias tornaram-se mais consagradas que outras sendo utilizadas em vários projetos ao redor do mundo. Dentre essas, destaca-se a metodologia proposta por Bergh-Christensen & Dannevig (1971) também conhecido como critério norueguês, e a metodologia proposta por Deere (1983).

#### 3.1.1 Critério Norueguês:

Como na maioria dos demais critérios de confinamento a tensão vertical coincide com a tensão

principal menor, sendo o coeficiente de empuxo no repouso superior a unidade. Por esse critério para que o túnel não necessite de blindagem a distância mínima ( $L_{\min}$ ) entre o teto do túnel e o topo rochoso deve obedecer a inequação a seguir:

$$L_{\min} > \frac{B \cdot \gamma_w \cdot h_w}{\gamma_r \cos(\omega)} \quad (1)$$

Onde,  $\gamma_w$ ,  $\gamma_r$  representam os pesos específicos da água e da rocha, respectivamente;  $h_w$  é a altura piezométrica e  $\omega$  é o ângulo formado entre a horizontal e a superfície do terreno.

### 3.1.2 – Critério de Deere:

A metodologia apresentada por Deere (1983) propõe que além da cobertura vertical é necessário obedecer a uma cobertura lateral de rocha cujo valor deve ser igual a duas vezes a cobertura vertical. A extensão do trecho em concreto armado e a extensão do trecho blindado devem obedecer às seguintes inequações, respectivamente:

$$\frac{h_r}{h_w} > 1,0 \quad (2)$$

$$\frac{h_r}{h_w} > 0,8 \quad (3)$$

A proposição feita por Deere (1983) possibilita não somente definir o comprimento da blindagem (inequação 3) mas também definir a extensão da transição e, concreto armado que deve anteceder o trecho com blindagem. Assim, a inequação 2 fornece a extensão do túnel em que não se faz necessário um revestimento estrutural em razão da pressão interna no túnel.

## 4 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS EMPÍRICOS DE PROJETO

Essa seção apresenta os resultados obtidos pela comparação entre a metodologia empírica e os resultados numéricos para definir a extensão do trecho sem revestimento e a extensão do trecho com blindagem.

Para avaliar os critérios empíricos foram utilizadas simulações numéricas de forma a modelar um túnel de pressão com 100 mca de pressão interna. Considerou-se o efeito somado da escavação e da pressão de água em um túnel de pressão utilizando o software Phase<sup>2</sup> v.6.0 (Rocscience, 2005) baseado no método de elementos finitos. O maciço rochoso simulado por um modelo elasto-plástico com critério de ruptura Hoek & Brown, sendo o comportamento pós-pico do tipo *strain softening* com redução em 30% dos parâmetros de resistência de pico. Os parâmetros do material foram:  $\gamma_r=25 \text{ kN/m}^3$ ;  $\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$ ;  $K_x=K_y=10^{-7} \text{ m/s}$ ;  $GSI=55$ ;  $E_{mr}=15310 \text{ MPa}$ ;  $\nu=0,2$ ;  $\sigma_{si}=100 \text{ MPa}$ ;  $m_b=4,009$ ;  $s=0,0067$ .

Foram simuladas as condições de talude horizontal e com talude de 45° de inclinação para os casos com  $k_0=0,5$ ,  $k_0=1$  e  $k_0=2$ . As análises foram feitas em duas etapas: a primeira para estabelecer a cobertura de rocha de forma que o túnel seja não revestido; a segunda para estabelecer a cobertura de rocha em que se faz necessário o uso de blindagem. Os resultados foram divididos conforme as etapas.

### 4.1 Túnel Sem Revestimento

O critério para determinar a cobertura de rocha acima do túnel de forma que não seja necessário um sistema de suporte contínuo foi limitar a extensão da zona plástica a elementos discretos como pequenos blocos que possam, por ventura, se desprender do teto ou das paredes sem comprometer a funcionalidade do túnel de pressão. Esse critério segue a linha de projeto dos noruegueses em que são admitidas algumas quedas de blocos e contidos por recuos de contenção de blocos (*rocktraps*).

A Figura 1 mostra a zona plástica obtida para dois dos casos simulados numericamente sendo a Figura 1a referente a um caso com talude horizontal e a Figura 1b para um caso com talude inclinado ( $\omega = 45^\circ$ ). Interessante notar que apesar de ambos os casos necessitarem de apenas eventuais suportes discretos há um aumento da zona plástica com o aumento da inclinação do talude, o que corrobora com a recomendação encontrada na literatura.

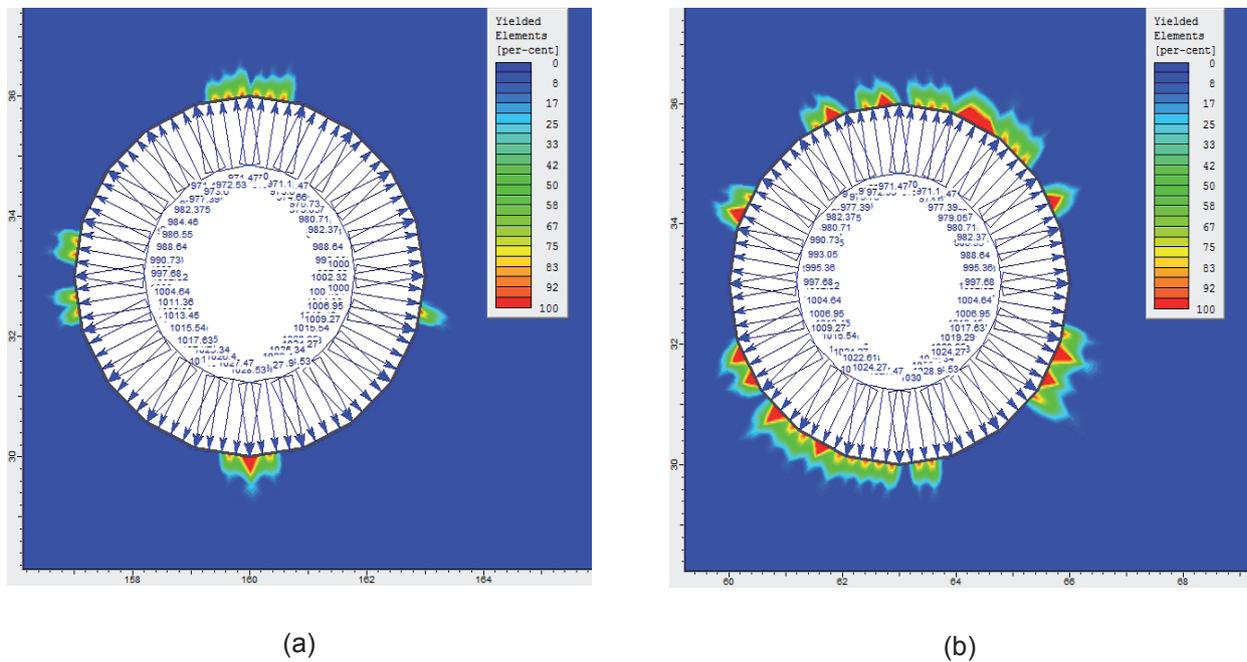


Figura 1. Zona plástica para túnel sem suporte obtida pelo MEF (Método dos Elementos Finitos) para: (a)  $\omega = 0^\circ$  e (b)  $\omega = 45^\circ$

A Tabela 1 apresenta os valores de cobertura de rocha ( $h_r$ ) necessária para garantir a não necessidade de revestimento considerando os critérios empíricos Norueguês e de Deere. Vale salientar

que ambos os critérios possuem como variável apenas a inclinação do talude e a pressão interna de água no túnel.

Tabela 1. Valores de cobertura de rocha para os critérios empíricos (sem suporte).

Método Empírico:	Inclinação do talude $\omega$ ( $^\circ$ )	Cobertura Vertical $h_r$ (m)	Cobertura Lateral $d_{lateral}$ (m)
Norueguês	0	40,0	-
	45	81,3	-
Deere (sem suporte)	0	100	130
	45	127	130

A Tabela 2 apresenta os valores de cobertura de rocha ( $h_r$ ), para todos os casos analisados numericamente. Comparando os valores da Tabela 1 com a Tabela 2 é possível inferir que no caso do talude horizontal com baixo coeficiente de empuxo ( $k_0=0,5$ ) ambos os critérios são contra a segurança sendo que a diferença entre o valor de cobertura obtido numericamente é 20% superior para o critério de Deere e 200% superior para o critério Norueguês.

Considerando o talude horizontal com  $k_0=1$  ambos os critérios estão a favor da segurança sendo que o critério Norueguês fornece valores mais

próximos dos valores obtidos pelo Phase<sup>2</sup> com um erro de 10%. Já para o critério de Deere essa diferença é de 64%. O último caso de talude horizontal, cujo valor de coeficiente de empuxo no repouso é de  $k_0=2$ , mostra que o critério Norueguês está contra a segurança, e o critério de Deere a favor da segurança com uma diferença de 15% em relação ao método numérico, enquanto a diferença entre o critério Norueguês e o método numérico é da ordem de 110%.

**Tabela 2.** Cobertura de rocha obtidos nas análises numéricas para túnel sem suporte.

Inclinação do Talude $\omega$ (°)	Cobertura de Rocha - h (m)		
	$k_0 = 0,5$	$k_0 = 1$	$k_0 = 2$
0	120	36	85
45	228	86	116

Com a inclinação do talude, o critério Norueguês torna-se contra a segurança para todos os casos de coeficiente de empuxo, sendo que para  $k_0=0,5$  a diferença para o método numérico é de 180%, para  $k_0=1$  a diferença é de apenas 6% e para  $k_0=2$  é de 43%. Já o critério de Deere é contra a segurança para  $k_0=0,5$  com uma diferença de 80% em relação ao resultado numérico, mas é a favor da segurança para  $k_0=1$  e  $k_0=2$ , com uma diferença entre o resultado numérico de 32 e 9%, respectivamente.

Com base nos resultados encontrados é possível afirmar que o critério Norueguês fornece resultados satisfatórios apenas para  $k_0=1$ , embora o efeito da inclinação exija o seu uso com cautela. Esse resultado vai ao encontro da premissa em que se baseia o método, que foi desenvolvido para maciços de boa qualidade assumindo que a tensão vertical é sempre igual ou inferior à tensão horizontal. No entanto, à medida que essa razão aumenta muito ( $k_0=2$ ) o método fornece valores subestimados de cobertura.

O critério proposto por Deere não conduz a resultados satisfatórios para baixos valores de coeficiente de empuxo, sendo mais adequado nos casos em que a tensão horizontal é superior a tensão vertical, fornecendo valores superestimados em relação aos resultados numéricos quando  $k_0=1$ , e resultados satisfatórios para  $k_0=2$ , inclusive nos casos de talude inclinado. Isso decorre da cobertura lateral mínima exigida para o túnel de pressão, limitando a distância do túnel para a encosta.

Assim, para definir os casos onde o túnel deva ser não revestido o critério de Deere se mostrou

adequado para  $k_0=2$  tanto para taludes horizontais quanto para taludes inclinados. Já para a condição de  $k_0=1$  o método mais próximo aos resultados numéricos são fornecidos pelo critério Norueguês, no entanto, para o caso do talude inclinado, esse método leva a resultados subestimados devendo ser corrigido de forma a aumentar a cobertura.

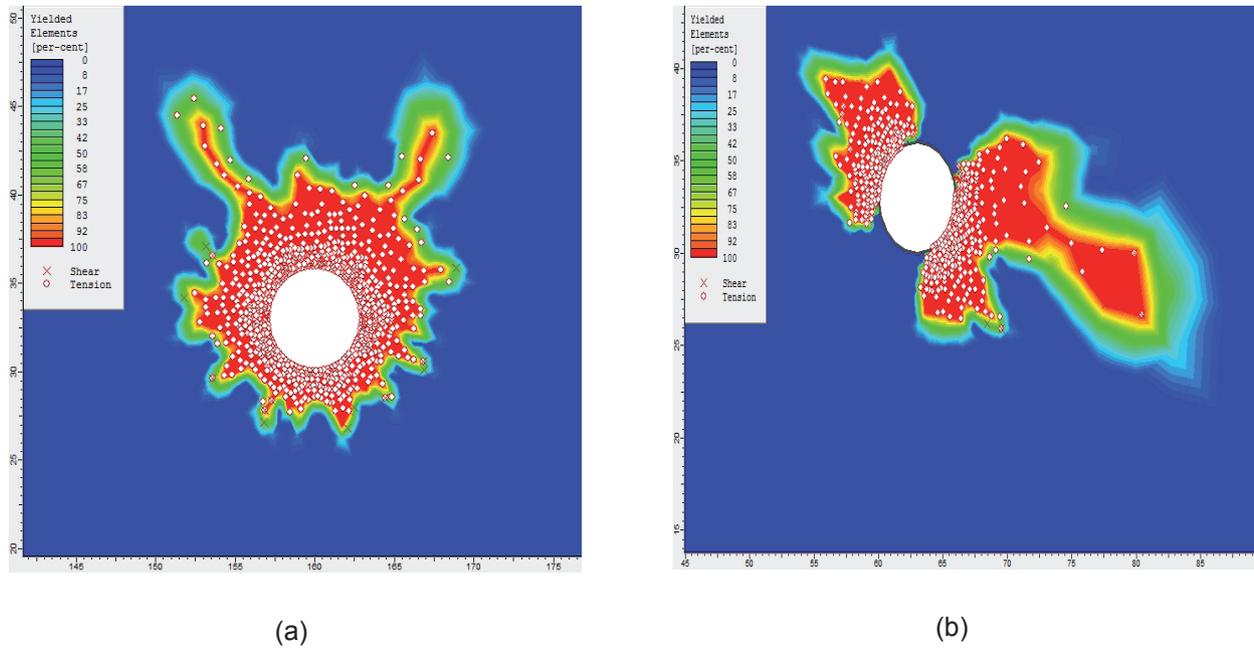
## 4.2 Túnel Com Blindagem

Para definir a necessidade de blindagem considerando a resistência do maciço, foi preciso estabelecer um critério em termos de extensão da zona plástica a partir do qual se tornará necessário lançar mão de blindagem. Assim, dois critérios foram definidos neste trabalho, sendo a blindagem necessária se um deles fosse constatado nas análises numéricas. Sendo assim, deve-se utilizar blindagem se:

- a área da zona plástica for igual ou superior a três vezes a área do túnel;
- qualquer extensão linear da zona plástica for igual ou superior à metade da profundidade relativa ( $z/r$ ) do túnel.

A primeira hipótese parte da premissa de que uma ruptura global ao redor da escavação ocorre quando o raio da zona plástica for igual a duas vezes o raio do túnel. Já a segunda está ligada a propagação da fissura em uma direção linear que tende a abrir sob o efeito da água gerando perda de pressão e água no túnel.

A Figura 2 mostra a zona plástica obtida para dois dos casos simulados numericamente, sendo a Figura 2a referente a um caso com talude horizontal e a Figura 2b para um caso com talude inclinado ( $\omega = 45^\circ$ ). O comportamento apresentado na Figura 2 ocorreu para todos os casos, mostrando que para o talude horizontal a ruptura se dá ao redor de toda a escavação e para o caso inclinado a ruptura tende a se propagar lateralmente ao túnel.



**Figura 2.** Zona plástica indicando a necessidade de blindagem obtida pelo MEF para: (a)  $\omega = 0^\circ$  e (b)  $\omega = 45^\circ$ .

A Tabela 3 apresenta os valores de cobertura mínima no qual, a partir daí torna-se necessária a blindagem de aço para resistir à pressão interna de água, dados pelos métodos empíricos. A Tabela 4 mostra os valores de cobertura de rocha para os quais é necessário o uso da blindagem obtidos numericamente.

Comparando-se os valores da Tabela 4 com a Tabela 3 é possível inferir que, exceto no caso do talude horizontal com baixo coeficiente de empuxo ( $k_0=0,5$ ) para o critério Norueguês, ambos os métodos são a favor da segurança sendo na maioria dos casos superestimados.

**Tabela 3.** Cobertura de rocha para os métodos empíricos (blindagem).

Método Empírico:	Inclinação do talude	Cobertura Vertical	Cobertura Lateral
	$\omega$ (°)	$h_r$ (m)	$d_{lateral}$ (m)
Norueguês	0	40,0	-
	45	81,3	-
Deere (blindagem)	0	80	160
	45	157	160

**Tabela 4.** Valor de cobertura de rocha obtidos nas análises numéricas para túnel blindado.

Inclinação do Talude $\omega$ (°)	Cobertura de Rocha - $h_r$ (m)		
	$k_0 = 0,5$	$k_0 = 1$	$k_0 = 2$
0	44	27	26
45	67,5	39	38,5

Para o caso com talude horizontal a diferença entre os resultados numéricos em relação ao critério Norueguês e o critério de Deere gira em torno de 33 e 66% quando  $k_0=1$ , e em torno de 35 e 68% quando  $k_0=2$ , respectivamente.

Quando o talude é inclinado essa diferença aumenta para 17 e 57% com  $k_0=0,5$ ; 52 e 75% com  $k_0=1$ ; 53 e 76% com  $k_0=2$ , (o primeiro valor refere-se à diferença entre o resultado numérico e o critério Norueguês e o segundo valor à diferença entre o resultado numérico e o critério de Deere, respectivamente).

Esses resultados mostram que a extensão da blindagem calculada por métodos empíricos pode levar a grandes comprimentos além do necessário gerando um grande incremento de custo.

O critério de Deere para definir o comprimento da blindagem resulta em valores pelo menos 50% superiores à cobertura necessária.

Já o critério Norueguês leva a um valor superior à necessária com uma diferença variando entre 20 a 50%, mas em casos onde o coeficiente de empuxo é baixo essa metodologia deve ser aferida por outros métodos.

Cabe ressaltar que todas as considerações aqui descritas restringem-se à situação simulada utilizando o MEF aqui apresentada, devendo servir como um indicativo e não como regra geral. Qualquer alteração das hipóteses e casos simulados deve ser reavaliada.

## 5 RECOMENDAÇÕES DE PROJETO PARA DEFINIÇÃO DO SUPORTE

Este item propõe uma rotina para o dimensionamento do sistema de suporte ao longo do túnel para cada uma das fases de projeto.

(a) Nos Estudos de Viabilidade a metodologia a ser utilizada deve ser baseada nos métodos empíricos. Com essa avaliação prévia os critérios empíricos a ser utilizados seguem:

- O método proposto por Bergh-Christensen & Dannevig (1971) conhecido como critério Norueguês, nos casos em que o  $k_0$  é superior a 1. Um fator de segurança de 1,3 deve ser utilizado para definir a cobertura mínima ao longo do traçado do túnel, sendo blindado o trecho em que essa condição não for atendida.
- O método proposto por Deere (1983) deve ser utilizado em casos onde o valor de  $k_0$  é inferior a 0,7;
- Para a determinação do trecho não revestido deve-se utilizar o critério Norueguês nos casos em que  $0,7 \leq k_0 \leq 1,5$ ;
- O método proposto por Deere (1983) deve ser utilizado em situações de baixo coeficiente de empuxo no repouso ( $k_0$  é inferior a 0,7) ou para valores mais elevados ( $k_0$  superior a 1,5).

(b) Na fase de Projeto Básico o nível de informações geológico-geotécnicas permite a utilização de métodos mais racionais de forma a otimizar o projeto do túnel de pressão. É requerida nessa fase uma caracterização do nível freático ao longo do traçado proposto. O mapeamento superficial do maciço ao longo do traçado fornece informações valiosas dos locais de emboque, desemboque as principais estruturas geológicas. Por esse mapeamento devem-se definir os locais mais

apropriados para a investigação direta com retirada de testemunhos. Os parâmetros de resistência advindos do material das sondagens possibilitam a modelagem geomecânica a fim de executar análises mais apuradas.

(c) Para a fase de Projeto Executivo os locais críticos ao longo do traçado como o início do trecho blindado, o início do trecho em concreto estrutural, o encontro do túnel com a casa de força (subterrânea), exigem a determinação das tensões por meio de ensaios de campo. O ensaio macaqueamento hidráulico é o que fisicamente mais se aproxima das condições em que um túnel de pressão submete o maciço. A pressão de fraturamento deve ser superior a 1,2 vezes a cobertura de rocha. Segundo Hartmaier et al. (1998), o valor médio de diversos ensaios de macaqueamento hidráulico permite uma adequada avaliação da heterogeneidade do maciço.

Entre o trecho blindado e o trecho sem suporte é necessário uma transição em concreto armado. Nas fases iniciais esse trecho é determinado empiricamente. Na Noruega o trecho de transição é limitado a dois diâmetros antes da blindagem (Brekke & Ripley, 1987). No trecho de transição deve ser posicionada a instrumentação necessária para monitorar as poropressões entre o maciço e o concreto de forma a avaliar as premissas de projeto do trecho blindado em relação à pressão externa de água, além de avaliar a eficiência da drenagem quando for o caso.

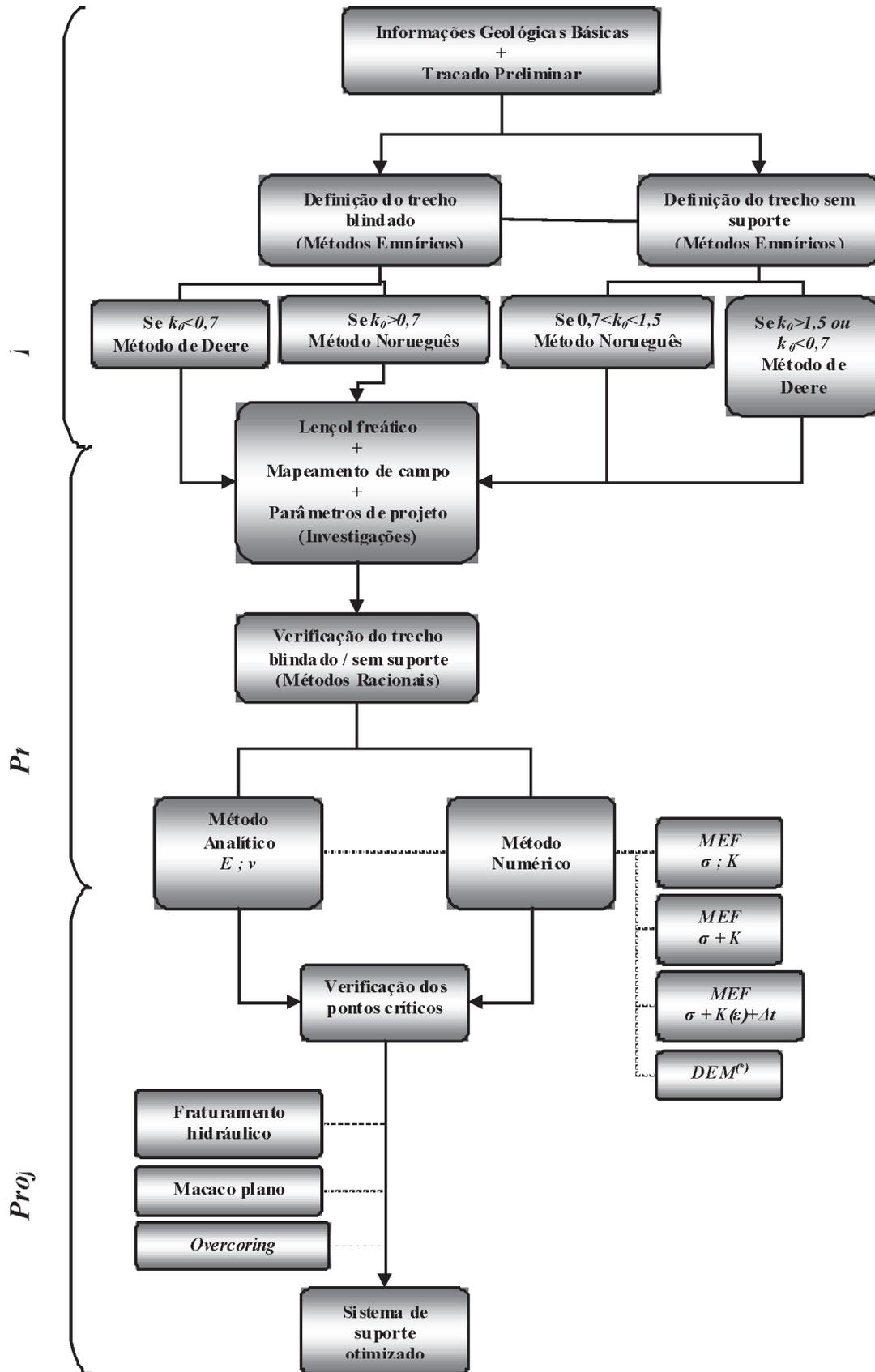
A Figura 3 mostra um esquema de dimensionamento para as diferentes etapas de projeto em túneis de pressão.

## 6 CONCLUSÕES

Na determinação do trecho sem revestimento do túnel de pressão, ambos os critérios empíricos (Deere (1983) e Bergh-Christensen & Dannevig (1971)) fornecem um valor superestimado de cobertura de rocha para valores baixos de  $k_0$ .

O critério Norueguês fornece valores satisfatórios para  $k_0=1$ , embora o efeito da inclinação do talude exija uma avaliação criteriosa desse critério que pode levar a valores contra a segurança.

O critério de Deere fornece valores superestimados para  $k_0=1$  e satisfatórios para  $k_0=2$ , inclusive nos casos onde o talude de superfície é inclinado.



(\*) Discreet Element Method

Figura 3. Critérios de cobertura para as diversas etapas de projeto de um túnel de pressão (Mota, 2009).

Esses resultados sugerem, na visão do autor do presente trabalho, que a metodologia empírica deva ser utilizada nas etapas preliminares de projeto, sendo necessária uma avaliação prévia em termos geológico-geotécnico de forma a definir uma faixa representativa para o coeficiente de empuxo do maciço ao qual estará inserido o túnel de pressão.

Já para o caso da definição do comprimento de blindagem, levando em conta o critério de segurança quanto à ruptura do maciço, os métodos empíricos podem fornecer valores superestimados de cobertura de rocha o que pode levar a grandes comprimentos de blindagem.

Foi proposta uma rotina para o dimensionamento do sistema de suporte ao longo do túnel para cada uma das fases de projeto de forma a otimizar a extensão do trecho blindado, cujo custo possui grande impacto financeiro no projeto.

## BIBLIOGRAFIA

- BENSON, R. B. (1989) Design of Unlined and Lined Pressure Tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 4(2), 155-170.
- BERG-CHISTENSEN, J., e DANNEVIG, N. T. (1971) *Engineering geological considerations concerning the unlined pressure shaft at the Mauranger Power Project*. GEOTEAM A/S, Oslo.
- BREKKE, T. L. & RIPLEY, B. D. (1987) Design guidelines for pressure tunnels and shafts. Electric Power Research Institute, report EPRI AP-5273, Berkeley, California.
- DEERE, D. U., (1983) Unique geotechnical problems at some hydroelectric projects. *Proc. 7<sup>th</sup> Pam Am Soil Mechanics Conference*, Vancouver, pp. 865-888.
- HARTMAIER, H. H., DOE, T. W. & DIXON, G. (1998) Evaluation of hydrojacking tests for an unlined pressure tunnel. *Tunneling and Underground Space Technology*, 13(4): 393-401.
- HENDRON, A. J., FERNÁNDEZ, G., LENZINI, P. A., HENDRON, M. A. (1989) *Design of Pressure Tunnels. The Art and Science of Geotechnical Engineering at the dawn of the twenty first century*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 161-192.
- LAUFFER, H. (1985) Austria's contribution towards the development of water power. Supplement to Int. Cong. On Large Dams, Lausanne, pp. 97-104.
- MOTA, I. M. (2009) Análise dos Critérios de Projeto e Comportamento de Túneis de Pressão. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-179/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 238 p.
- PATTERSON, S. J., HALE, G. E. A., IKIN, D. B. (1975) Stabilizing a landslide above fisher penstock, Tasmania. *Proc. 2<sup>nd</sup> Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*, Brisbane, pp. 18-19.
- ROCSCIENCE (2005) Phase<sup>2</sup> v.6.0 – Theory Manual. Rocscience, Toronto, Ontario, Canada, 553 p.
- STINI, J. (1974) Landslides, engineering geology of dams, reservoirs, tunneling, groundwater effects in rock masses and tectonics. *Austrian Society for Geomechanics*, Karlsruhe.



# REVESTIMENTOS COM PLACAS DE ROCHAS: ADERÊNCIA COM ARGAMASSA COLANTE

LIZANDRA NOGAMI

*Programa de Pós-Graduação em Geotecnia  
EESC/USP – São Carlos/SP – Brasil  
linogami@yahoo.com.br*

ANTENOR BRAGA PARAGUASSÚ

*EESC/USP – São Carlos/SP – Brasil  
nonus@sc.usp.br*

JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

*EESC/USP – São Carlos/SP – Brasil  
zeduardo@sc.usp.br*

## RESUMO ABSTRACT

No presente trabalho foram comparadas as aderências de cinco tipos de argamassas colantes para fixar ladrilhos de “granitos” em pisos e revestimentos de edificações. Uma das argamassas é industrializada e específica para granitos e mármore, outra preparada em laboratório para fixação de porcelanatos, e mais 3 argamassas desenvolvidas também em laboratório, tendo como base a argamassa para porcelanato. Para a realização do ensaio de aderência foram escolhidos oito tipos diferentes de “granitos”, grande aceitação comercial. Os resultados evidenciaram a excelente qualidade das argamassas colantes desenvolvidas em laboratório as quais superaram a industrializada. Verificou-se também que a aderência de todas as argamassas está relacionada à rugosidade das placas e às características mineralógicas dos “granitos”.

**Palavras-chave:** Cimento, Argamassa Colante e Rochas Ornamentais

In this paper, the adherence of five types of adhesive mortars used for fixing granite tiles in floors and linings of buildings were compared. One of the mortars is industrialized and specific for granites and marbles, another one, is prepared in the laboratory for setting porcelain tiles, and three other types of mortars, also developed in the laboratory, having the porcelain tile mortar as a base were used. To carry out the adherence test, eight types of granites of large commercial acceptance were selected. The results of the tests showed the excellent quality of the adhesive mortars developed in the laboratory, which were considered superior than the industrialized type. Likewise, it was noted that the adherence of all types of mortars is related to the roughness of the plates and to the mineralogical characteristics of the granites.

**Keywords:** Cement, adhesive mortar and dimension stones

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar das excelentes características estéticas e de durabilidade, as rochas quando aplicadas em pisos e em revestimentos de paredes requerem cuidados especiais quanto aos procedimentos de execução e ao tipo de argamassa utilizada. Podem surgir problemas provocados tanto pela

má aderência entre a placa e a argamassa de assentamento ou desta com a edificação, como pela deterioração da própria argamassa e da rocha, que estão sujeitas aos diversos agentes naturais ou induzidos pelo homem.

Os sistemas de revestimentos de edificações com placas de rochas ainda são baseados no empirismo, pois inexistem especificações metodológicas

para as argamassas utilizadas na fixação. Até pouco tempo o uso das rochas era restrito às construções luxuosas, ultimamente está mais difundido e registra um acréscimo no consumo residencial de rochas para pisos e revestimentos não só pelas suas qualidades e efeito estético, mas também pelo preço acessível. Isto resulta no aumento do uso de argamassa para a fixação e implica, portanto, na necessidade de estudos mais detalhados sobre as composições das argamassas para atender a grande variedade de tipos de rochas existentes no mercado.

O presente trabalho trata da fixação das placas de rochas em pisos, assim como, em paredes internas e externas, utilizando as argamassas colantes. Essas argamassas são constituídas de aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos.

O objetivo principal é o de comparar a aderência da argamassa colante industrializada para mármore e granitos, com outras argamassas desenvolvidas em laboratório, levando em conta a influência da rugosidade das placas e as características petrográficas da rocha.

As argamassas colantes ou argamassas adesivas, ao contrário das convencionais, são aplicadas em camadas finas e na forma de cordões. Suas propriedades reológicas e mecânicas dependem da técnica de aplicação das condições ambientais no momento do preparo e de seus constituintes, em especial dos seus aditivos (polímeros e sílica ativa).

## 2 MATERIAIS

### 2.1 Rochas ornamentais e de revestimento

Os “granitos” são bem aceitos no mercado mundial, principalmente os brasileiros, devido a grande variedade cromática e textural. No presente trabalho foram escolhidos oito tipos de “granitos” (Figura 1) que apresentam boas qualidades tecnológicas e de grande aceitação no mercado interno e externo. Comercialmente conhecidos como: Cinza Andorinha, Amarelo Ornamental, Vermelho Brasília, Preto São Gabriel,

Verde Labrador, Azul Fantástico, Preto Indiano e Jacarandá Rosado. A composição mineralógica e a porosidade destes “granitos” foram determinadas pelo Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP – Instituto de Geociências e ciências exatas/Universidades Estadual Paulista – Rio Claro.

### 2.2 Argamassas e substrato padrão

Foram utilizados cinco tipos de argamassas, para a fixação de ladrilhos de rocha em pisos e em paredes internas ou externas.

- Uma argamassa existente no mercado específica para granitos e mármore, que será referida como *Argamassa industrializada*;
- Outra argamassa, desenvolvida no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – São Carlos (Almeida & Sichieri, 2006), que será referida no presente trabalho como *Argamassa para porcelanato*.
- As demais têm como base a de porcelanato, com variações da relação água/cimento, o tipo de cimento e a quantidade de látex.

A razão da escolha da *Argamassa para porcelanato* é que este material cerâmico apresenta baixíssima porosidade (< 3%), semelhante aos “granitos”, o que restringe a aderência mecânica (penetração da argamassa nos poros - ancoragem), sendo à aderência resultante de ligações químicas ou forças intermoleculares (físicas).

A *Argamassa para porcelanato* é composta de: 5% de sílica ativa, 20% de látex, relação at/c = 0,4 (at – água total, incluindo a água proveniente do látex polimérico; c – cimento), a proporção cimento:areia é 1:1,5 em massa e 1% de superplastificante em relação à massa do cimento. O cimento é o CP V ARI Plus e a areia tem diâmetro máximo característico de 0,6 mm.

As outras argamassas foram preparadas da seguinte maneira: a) Diminuição da relação água/cimento (argamassa 1); b) Trocando o tipo de cimento de CP V ARI Plus para um cimento branco que reage menos com a rocha (argamassa 2); c) Dobrando a quantidade de látex (argamassa 3), como mostrado na Tabela 1.

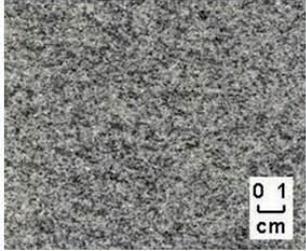
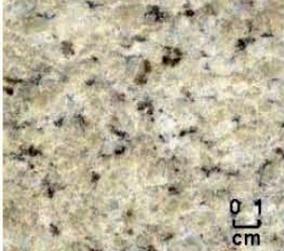
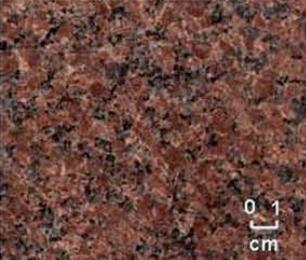
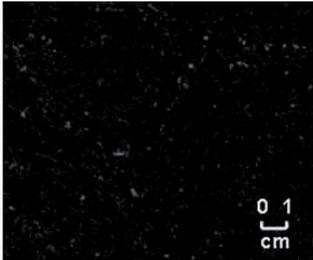
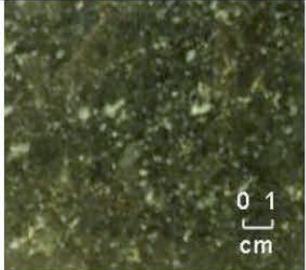
<p><b>Cinza Andorinha</b> (Monzogranito)</p>	<p><b>Amarelo Ornamental</b> (Granada gnaisse)</p>
 <p>Quartzo (30,0%), microclínio (31,0%), plagioclásio (25,0%) e biotita (12,0%).</p>	 <p>Ortoclásio (40,0%), quartzo (30,0%), oligoclásio (21,0%), granada (3,5%) e biotita (2,5%).</p>
<p><b>Vermelho Brasília</b> (Sienogranito)</p>	<p><b>Preto São Gabriel</b> (Tonalito)</p>
 <p>Quartzo (32%), microclínio (41%), oligoclásio (16%) e biotita (5%).</p>	 <p>Plagioclásio (49,9%), quartzo (20,9%), biotita (12,0%), microclínio (2,9%), hornblenda (2,1%) e piroxênios (4,8%).</p>
<p><b>Verde Labrador</b> (Chamoquito)</p>	<p><b>Azul Fantástico</b> (Monzogranito gnaissificado)</p>
 <p>Quartzo (14%), microclínio (39%), oligoclásio (16%), biotita (5%), hiperstênio (5%), hornblenda (5%) e granada (5%).</p>	 <p>Quartzo (29,1%), plagioclásio (28,2%), feldspato alcalino (21,3%) e biotita (19,9%).</p>
<p><b>Preto Indiano</b> (Migmatito)</p>	<p><b>Rose Jacarandá</b> (Migmatito)</p>
 <p>Quartzo (22-32%), microclínio (4,5-25%), plagioclásio (41-40%), biotita (23-3%), silimanita (5-0%) e muscovita (3-0%).</p>	 <p>Feldspato alcalino (38,5%), quartzo (30,5%), plagioclásio (22,0%) e biotita (8,6%).</p>

Figura 1 - Aspecto macroscópico e mineralogia das rochas estudadas.

TIPO	CP V - ARI	CIMENTO BRANCO ESTRUTURAL	LATEX	RELAÇÃO a/c
Argamassa para porcelanato	X		20%	0,4
Argamassa 1	X		20%	0,25
Argamassa 2		X	20%	0,4
Argamassa 3	X		40%	0,3

Tabela 1 - Argamassas preparadas em laboratório.

Os componentes das argamassas possuem as seguintes características:

a) Superplastificante- líquido de densidade: 1,11 g/cm<sup>3</sup> ( $\pm 0,02$ ), pH: 8,5  $\pm$  1, coloração alaranjada e melamina como base química;

b) Polímero- emulsão aniônica isento de plastificantes, formulado a partir de um copolímero de éster de ácido acrílico e estireno e apresenta as seguintes características fornecidas pelo fabricante: Natureza: dispersão aquosa aniônica de um copolímero de butilacrilato e estireno; Teor de sólidos: 49,0 a 51,0%; Viscosidade Brookfield (RVT 415 °C): 1000-2000 mPas; Densidade: 1,02 g/cm<sup>3</sup>; pH: 4,5 a 6,5; Temperatura mínima de formação do filme: 20 °C; Tamanho médio de partículas: 0,1 $\mu$ m; Propriedades do filme: Aspecto límpido e transparente; Boa estabilidade ao envelhecimento e luz.

O substrato padrão, onde serão assentados os corpos de prova, foi utilizados o CP II E 32, areia média e pedrisco (brita 0), segundo a norma NBR 14082 (2004).

### 3 MÉTODOS

#### 3.1 Preparação dos corpos de prova

A extração dos corpos-de-prova das rochas foi feita com broca diamantada (discos com diâmetro de 3,0 cm) em ladrilhos comercializados com dimensões de 40 cm x 40 cm e com espessura de 2 ou 3 cm. Os discos possuem duas faces paralelas, uma com a rugosidade resultante do processo de serragem nos teares e a outra "polida". Esta superfície "polida" teve o brilho retirado em torno mecânico com retifica de rebolo diamantado.

Os ensaios de aderência foram executados em duas etapas:

a) Corpos-de-prova aderidos à argamassa pela superfície rugosa;

b) Corpos-de-prova aderidos à argamassa pela superfície "polida"/retificada.

#### 3.2 Determinação da rugosidade dos corpos de prova

As placas de granitos utilizadas apresentam rugosidades provenientes do processo de serragem em teares. Esta rugosidade influencia na sua aderência, e foi determinada utilizando o perfilômetro portátil, projetado e construído por Paraguassú et al. (2004), aprimorado por Ribeiro et al. (2005), específico para placas de rochas serradas em teares, que determina o parâmetro Rt correspondente à maior altura entre pico-vale ao longo do comprimento avaliado.

#### 3.3 Determinação da Resistência de Aderência à Tração

Por falta de norma específica para rochas usou-se a norma NBR 14084 (2004) de argamassas colantes para cerâmica. Foi necessário uma adaptação quanto ao número e diâmetro dos corpos-de-prova (Nogami, 2007). Os corpos-de-prova (discos) com diâmetro de 3,0 cm foram ensaiados com a superfície rugosa em contato com a argamassa.

Os substratos padrão foram confeccionados de acordo com as diretrizes da norma NBR 14082 (2004) com traço indicativo em massa igual à 1:2,58:1,26. Os corpos-de-prova assentados com as argamassas descritas foram mantidos nas condições normais de cura especificadas na norma.

O equipamento utilizado no ensaio de aderência foi do tipo manual, normalmente existente nos laboratórios, que exerce uma força de tração nos corpos-de-prova capaz de arrancá-los do substrato.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração nas faces rugosa e polida e comentários a respeito da influência da mineralogia (Nogami et al., 2009)

## 4.1 Resistência de aderência à tração

### 4.1.1 Com a superfície rugosa

A Figura 2 mostra que para todas as rochas ensaiadas a aderência com as cinco argamassas

estudadas, a *Argamassa para porcelanato* teve valores de aderência superiores aos das outras argamassas, menos para a rocha Cinza Andorinha em que a maior aderência observada foi para a argamassa 1.

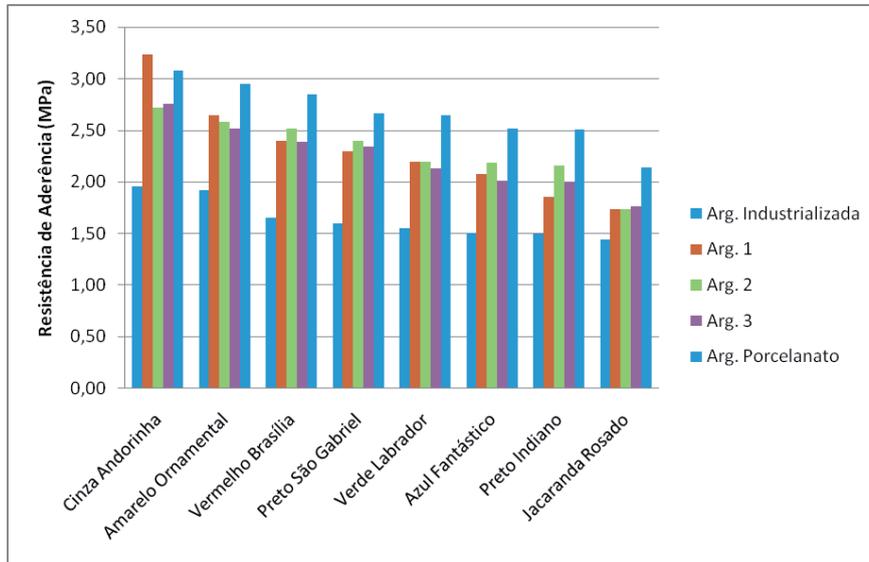


Figura 2 – Resistência de aderência à tração da face rugosa das rochas.

Nas Figuras 3 a 7 são mostradas as relações entre a aderência e a rugosidade dos corpos-de-prova ( $d = 3,0$  cm). Observa-se que a variação da aderência foi diretamente proporcional aos valores de  $R_t$  (mm), evidenciando, que

a maior superfície de contato proporciona maior interação física (ligações de *Van der Waals*) já que nestas rochas a baixíssima porosidade ( $\leq 1,01\%$ ) limita a aderência por ancoragem (penetração de argamassa nos poros).

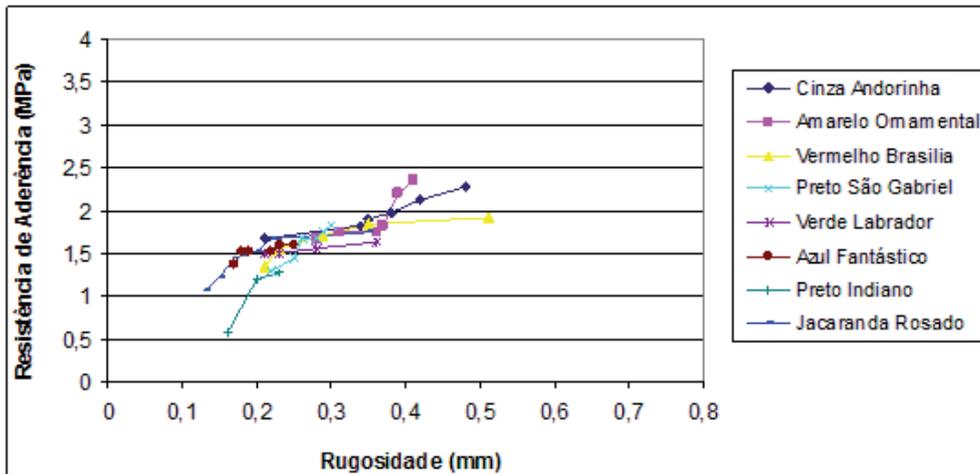


Figura 3 – Resistência de aderência à tração X Rugosidade com a Argamassa Industrializada

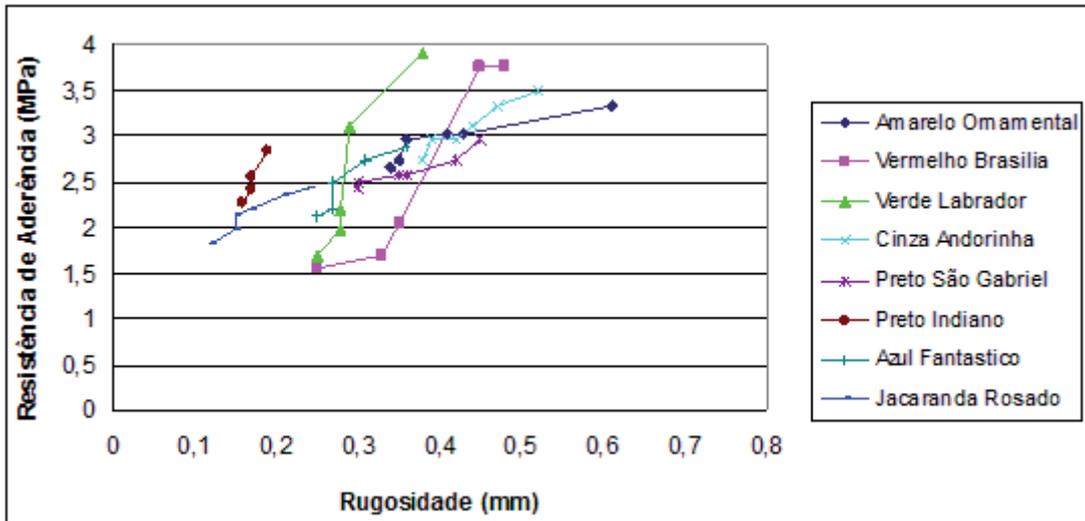


Figura 4 - Resistência de aderência X Rugosidade com a Argamassa para porcelanato.

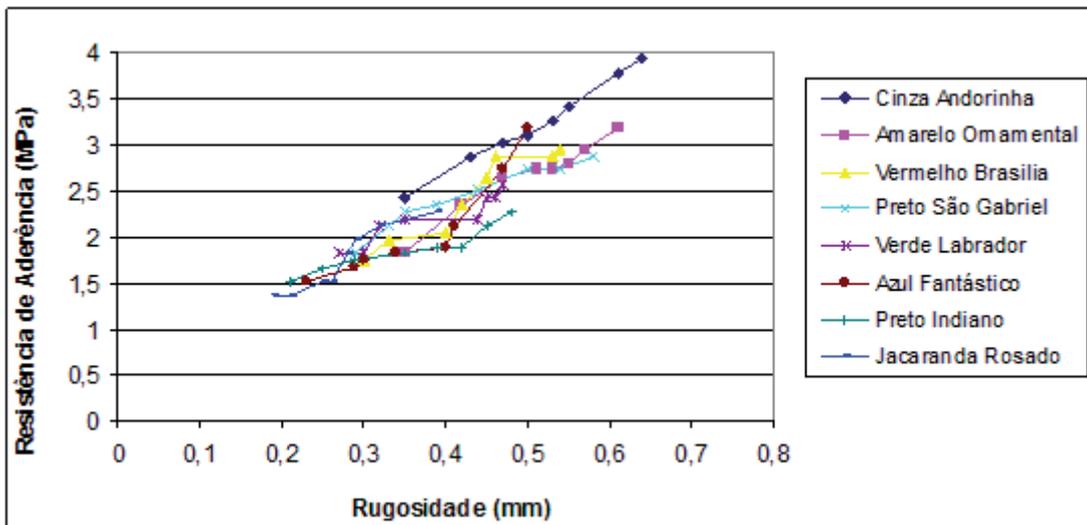


Figura 5 - Resistência de aderência X Rugosidade com a Argamassa 1.

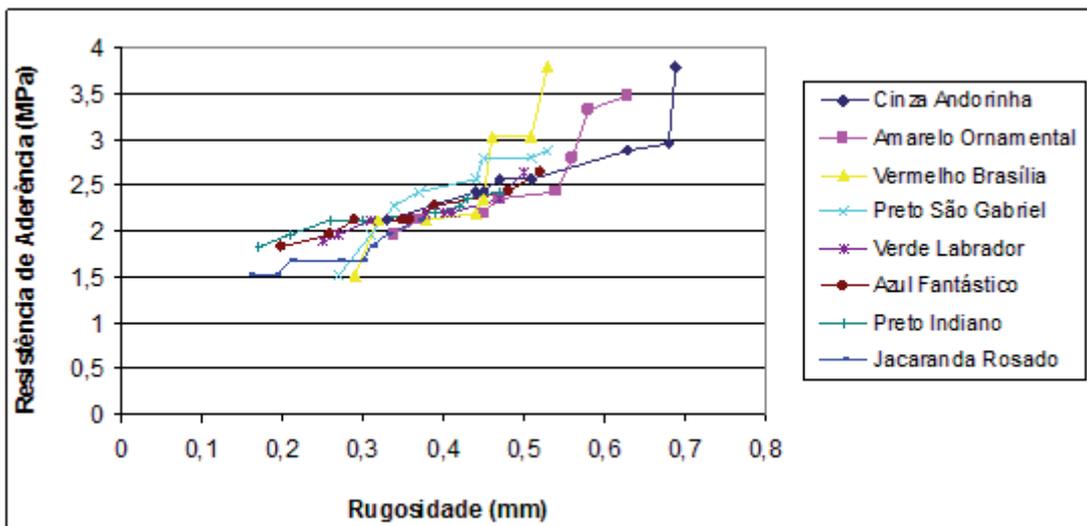


Figura 6 - Resistência de aderência X Rugosidade com a Argamassa 2.

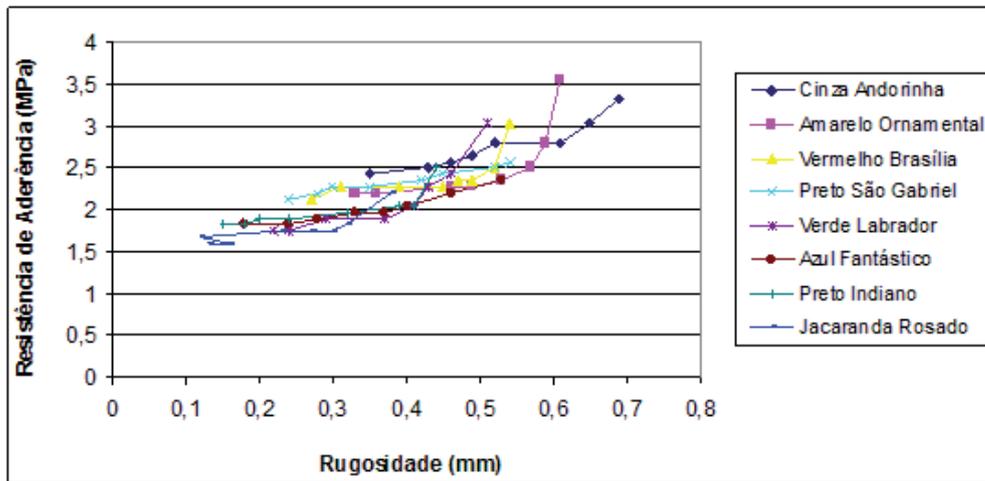


Figura 7 - Resistência de aderência X Rugosidade com a Argamassa 3.

#### 4.1.2 Com a superfície "polida"/ retificada.

Os ensaios de resistência de aderência à tração na face "polida"/retificada mostraram que rochas com maior teor de quartzo em relação ao feldspato possuem menor aderência (Figura 8). Essa

influência da mineralogia foi comprovada por Nogami et al. (2009), por meio de ensaios com monocristais de quartzo e feldspato, que mostraram valores de aderência 50% menores para o quartzo quando comparados ao feldspato (microclínio).

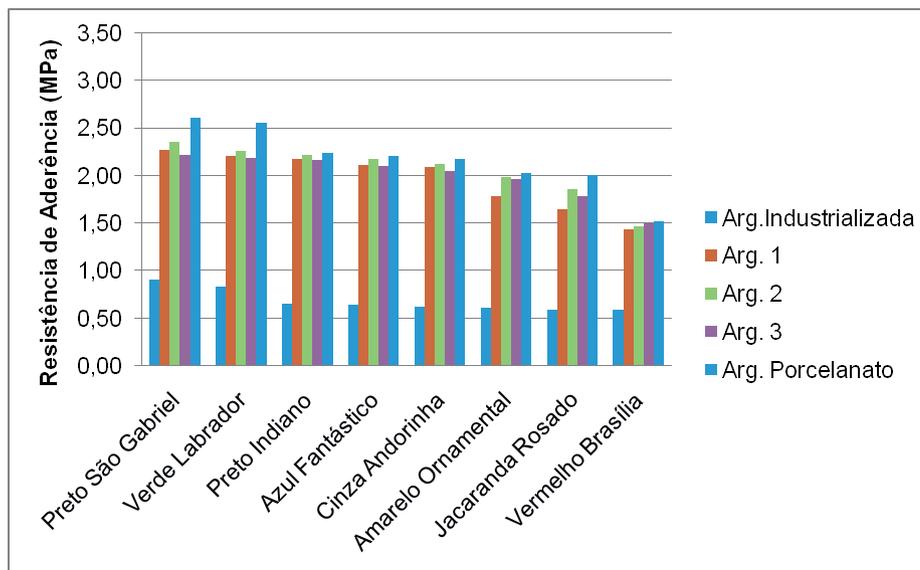


Figura 8 - Resistência de aderência à tração da face "polida"/retificada.

## 5 CONCLUSÕES

- Todas as argamassas estudadas apresentaram aderência superior a 1 MPa exigido por norma;
- A Argamassa para porcelanato (desenvolvida em laboratório) apresentou valores de aderência superiores as demais argamassas estudadas;
- A argamassa industrializada apresentou os menores valores de aderência em comparação às preparadas em laboratório;
- A resistência de aderência foi influenciada pela rugosidade da superfície das placas de rochas, maior rugosidade, maior a aderência;
- A resistência de aderência das argamassas foi inversamente proporcional à quantidade de quartzo presente nas rochas.

## BIBLIOGRAFIA

- Almeida, A. E. F. de S. ; Sichieri, E. P. (2006). Propriedades microestruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato. *Cerâmica*, v. 52, p. 174-179.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004). NBR 14082. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaio.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004). NBR 14084. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: Determinação da resistência de aderência.
- Nogami, L. (2007). Fixação de placas de rochas ornamentais: Estudo da aderência com argamassa colante. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- Nogami, L.; Paraguassú, A.B; Rodrigues, J.E. (2009). *Estudo da Influência Mineralógica e dos Componentes da Argamassa na Fixação de alguns -Granitos-*. *Revista de Geologia-UFC*, v. 22, n. 2, p. 176-185.
- Paraguassú, A.B.; Ribeiro, R.P; Rodrigues, J.E. (2004). Medidas de Rugosidade em Chapas de Granitos Ornamentais Serrados em Teares Multilâminas. Araxá. 32º Congresso Brasileiro de Geologia.
- Ribeiro, R.P.; Paraguassú, A.B.; Silveira, L.L.; Rodrigues, J.E.; Moredo, H.C. (2005). Quantificação da textura superficial da chapas de granitos serrados em teares multilâminas. Guarapari. ICIRO – I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais.

# UMA EXPERIÊNCIA INOVADORA DE ENSINO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL PARA A GERAÇÃO Z

LEANDRO EUGENIO DA SILVA CERRI

*Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp Rio Claro (SP).  
Av. 24-A, 1515 – Bela Vista. 13506-900. Rio Claro (SP). (19) 3526.9302. lescerri@rc.unesp.br*

FÁBIO AUGUSTO GOMES VIEIRA REIS

*Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp Rio Claro (SP).  
Av. 24-A, 1515 – Bela Vista. 13506-900. Rio Claro (SP). (19) 3526.9316. fabioreis@rc.unesp.br*

LUCAS SCHINCARIOL VERCELLINO DOMINGUES

*Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp Rio Claro (SP).  
Av. 24-A, 1515 – Bela Vista. 13506-900. Rio Claro (SP). (19) 3526.9302. lucas.vercellino@gmail.com*

MAURO CERRI NETO

*Centro de Estudos Ambientais - CEA, Unesp Rio Claro (SP).  
Av. 24-A, 1515 – Bela Vista. 13506-900. Rio Claro (SP). (19) 3534.0122. cerrineto@uol.com.br*

## RESUMO ABSTRACT

As doze edições do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental (CBGE), promovidas pela ABGE no período de 1976 a 2008, não motivaram os docentes e profissionais a publicarem artigos sobre o tema ensino. É notória, nos CBGEs, a ausência de artigos que tratam sobre o ensino de Geologia de Engenharia e Ambiental nos cursos de graduação em Geologia. O artigo trata de aspectos relacionados ao ensino e aprendizado em Geologia de Engenharia e Ambiental na atualidade (anos 2010 em diante), que é voltado a jovens da denominada Geração Z (também conhecida por Geração M - Multitarefa, ou ainda Geração C - Conectada). Os representantes desta geração nasceram a partir dos anos 90 e possuem absoluta familiaridade com a internet e recursos que ela proporciona, apresentando grande capacidade de convivência com enormes quantidades e altas velocidades de informação. A conectividade é a marca principal desta geração. Tais características têm exigido uma nova forma de ensinar. É relatada uma experiência de ensino inovadora, voltada para a Geração Z, implantada na Unesp Rio Claro (SP).

**Palavras-chave:** geração z, aspectos didáticos pedagógicos, geologia de engenharia, ensino

## AN INNOVATIVE TEACHING EXPERIENCE OF ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT FOR GENERATION Z

The twelve editions of the Brazilian Congress of Engineering Geology and the Environment (CBGE), promoted by ABGE during the period of 1976 to 2008, did not motivate teachers and professionals to publish articles on the subject teaching, specifically related to the teaching of Engineering Geology and the Environment. It is notorious, in the CBGE's, the absence of articles that deal with the teaching of engineering geology in undergraduate courses in geology. The article deals with issues related to teaching and learning in Engineering Geology and the Environment nowadays (year 2010 onwards), which is aimed at the youth of the called Generation Z (also known as Generation M - Multitasking, or Generation C - Connected). The representatives of this generation are born from 1990 onwards, with complete familiarity with the internet and the resources it provides, with great capacity for coping with huge amounts and high speeds of information. The connectivity is the main characteristic of this generation. Such features have required a new way of teaching. An innovative teaching experience is reported at Unesp Rio Claro (SP), focused on Generation Z.

**Keywords:** generation Z, didactic and pedagogic aspects, engineering geology, teaching

# 1 INTRODUÇÃO

A ABGE promove congressos nacionais desde 1976, tendo sido aceitos e publicados, nas doze

edições do evento realizadas até o ano de 2008, um total de 1587 artigos (Tabela 1).

**Tabela 1** - Total de artigos, aceitos e publicados, em cada CBGE, no período de 1976 a 2008.

Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia - CBGE (*)	Ano e Local de Realização do CBGE	Número de Artigos Publicados
1º	1976 - Rio de Janeiro (RJ)	53
2º	1978 - São Paulo (SP)	50
3º	1981 - Itapema (SC)	87
4º	1984 - Belo Horizonte (MG)	85
5º	1987 - São Paulo (SP)	78
6º	1990 - Salvador (BA)	133
7º	1993 - Poços de Caldas (MG)	66
8º	1996 - Rio de Janeiro (RJ)	70
9º	1999 - São Pedro (SP)	107
10º	2002 - Ouro Preto (MG)	466
11º	2005 - Florianópolis (SC)	200
12º	2008 - Porto de Galinhas (PE)	192
	<b>Total</b>	<b>1587</b>

(\*) a partir do 10º CBGE, 2002, Ouro Preto (MG), o CBGE passou a ser denominado Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, mantendo-se a sigla CBGE

Até a 8ª edição do CBGE (1996, Rio de Janeiro, RJ), os artigos aceitos nos congressos nacionais da ABGE eram impressos. A partir do 9º CBGE (1999, São Pedro, SP) os artigos aceitos passaram

a ser reunidos em CD-ROM. A Figura 1 ilustra os anais impressos e em formato digital dos congressos nacionais da ABGE, realizados no período de 1976 a 2008.



**Figura 1** - Anais impressos (de 1976 a 1996) e em formato digital (de 1999 a 2008), dos Congressos Brasileiros de Geologia de Engenharia e Ambiental promovidos pela ABGE.

Das doze primeiras edições do congresso nacional da ABGE, somente o 7º CBGE, realizado em 1993, em Poços de Caldas (MG), contemplou o tema “Ensino de Geologia de Engenharia”, dentre os nove temas que integraram a temática do evento. No 7º CBGE, do total de 66 artigos aceitos e publicados, 05 contribuições (7,6% do total) foram classificadas pela Comissão Organizadora do evento no Tema 2 - “Ensino de Geologia de Engenharia” (Tabela 2).

Anteriormente ao 7º CBGE, a temática “Ensino de Geologia de Engenharia” foi contemplada de forma destacada apenas no 2º CBGE (1978, São Paulo, SP), por meio da Mesa Redonda “A Questão da Formação de Recursos Humanos e do Desenvolvimento Científico e Tecnológico na Geologia de Engenharia”. A partir do 7º CBGE (1993), não há destaque para o tema ensino nos congressos da ABGE.

**Tabela 2** - Artigos aceitos e publicados no 7º CBGE, classificados no tema “Ensino de Geologia de Engenharia”.

Título do Artigo	Autor (es)	Volume e Páginas
O Curso de Mestrado em Geotecnia da UFV: Similaridades e Inovações com Relação a outros Programas Nacionais	Dario Cardoso de Lima; Fernando Fussaro; Enivaldo Minette; José Carlos Virgilli; Benedito de Sousa Bueno	Vol. 1, p. 63-68
Problemas e Perspectivas no Ensino da Geologia de Engenharia	Nariaqui Cavaguti	Vol. 1, p. 69-76
O Fator Pedagógico do Ensino da Geologia de Engenharia em Especializações Profissionais - A Experiência de 15 Anos do ITA	Márcio Angelieri Cunha; Eugênio Vertamatti; Lindolfo Soares	Vol. 1, p. 77-82
Adequação Profissional do Geólogo para o Ano 2000	Lindolfo Soares; Ely Borges Frazão	Vol. 1, p. 83-88
Profissional de Geologia de Engenharia para o Ano 2000 - Análise e Perspectivas	Augusto Massayuki Tsutiya	Vol. 1, p. 89-94

Dos cinco artigos do 7º CBGE classificados no Tema 2 - “Ensino de Geologia de Engenharia” e relacionados na Tabela 2, as contribuições de Soares & Frazão (1993) e de Tsutiya (1993) na verdade não versam sobre ensino, mas sim sobre aspectos que aparentemente se enquadrariam melhor no Tema 1 do evento, “Perspectivas da Geologia de Engenharia para o Ano 2000”. Já o artigo de Lima *et. al.* (1993), aborda especificamente o ensino em curso de pós-graduação (mestrado em Geotecnia), não enfocando diretamente aspectos didático-pedagógicos.

Cunha *et al.* (1993) discutem sobre o papel pedagógico da disciplina Geologia de Engenharia na formação profissional de alunos de cursos de especialização na área de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e apresentam uma proposta de conteúdo programático da disciplina Geologia de Engenharia.

Cavaguti (1993) discorre sobre os problemas do ensino de Geologia de Engenharia também em

cursos de graduação em Engenharia Civil, sobretudo em instituições particulares. O autor citado critica o formato das aulas teóricas expositivas, a organização de aulas práticas em laboratório sem contar com uma efetiva participação dos alunos e a carência de trabalhos de campo e de visitas a obras, dentre outros aspectos. Especificamente, quanto à didática, Cavaguti (1993) sugere “estimular uma reformulação profunda na metodologia de ensino, objetivando maior e mais crítica participação dos alunos, com maior aproximação aos aspectos locais e regionais...”. Também sugere que grupos de docentes e profissionais deveriam se responsabilizar pela elaboração de materiais didáticos audiovisuais, manual de aulas práticas de laboratório e publicação de um livro-texto sobre Geologia de Engenharia.

Com base na descrição apresentada e no reduzido número de contribuições que efetivamente abordam aspectos do processo ensino-aprendizado, verifica-se que a temática “Ensino de Geologia

de Engenharia e Ambiental” não sensibilizou os participantes dos congressos nacionais da ABGE a ponto de publicarem artigos sobre o tema nos doze eventos realizados até 2008. Nos CBGEs, é notória a ausência de artigos que tratam sobre o ensino de Geologia de Engenharia nos cursos de graduação em Geologia.

A incorporação do tema “Ensino de Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental” no 13º CBGE – dentre os oito temas do evento - motivou a elaboração do presente artigo, que trata de assunto que deve ganhar destaque nos próximos anos, tanto nas universidades quanto nas empresas, já que estes locais representam os principais palcos de ensino e aprendizado em Geologia de Engenharia e Ambiental. Um aspecto peculiar também abordado no presente artigo é referente ao ensino de Geologia de Engenharia e Ambiental na atualidade (anos 2010 em diante), que é voltado a jovens da denominada Geração Z. Os representantes desta geração são nascidos a partir dos anos 90 e possuem absoluta familiaridade com a internet e recursos que ela proporciona, tais como o acesso a *websites* que apresentam conteúdos atualizados, dinâmicos e atraentes, como plataformas de ensino on-line, nas quais podem compartilhar informações sobre determinado assunto, aumentar seu conhecimento e acessar atividades interativas. Além disso, apresentam grande capacidade de convivência com enormes quantidades e altas velocidades de informação, utilizando a televisão, computadores, aparelhos celulares (*smartphones*) e recursos de última geração simultaneamente. A conectividade é a marca principal desta geração, que tem como expoente as redes sociais.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo principal discorrer sobre aspectos da relação ensino-aprendizagem de Geologia de Engenharia e Ambiental para cursos de Graduação em Engenharia Ambiental e Geologia, considerando as características da geração Z. Também apresenta um relato de experiência de ensino inovadora, voltada para a Geração Z, implantada na Unesp Rio Claro (SP).

## 2 ABORDAGENS DE ENSINO SEGUNDO O PAPEL DO DOCENTE

Tanto as formas de transmissão, quanto as de recepção de conteúdos instrucionais podem ser diversas, dependendo de fatores didáticos, fatores associados às condições do local do aprendizado, diversidade e qualidade dos recursos tecnológicos disponíveis para docentes e alunos, bem como de aspectos de natureza psicológica, dentre vários outros.

Em relação às formas, estilos ou abordagens de transmissão de conteúdos – o que no presente texto se denomina de “papel desempenhado pelo docente” - é possível individualizar dois grandes grupos, com características absolutamente distintas. O primeiro grupo é aquele associado ao ensino mais tradicional, centrado unicamente na figura do professor-instrutor. O segundo, mais recente, privilegia o envolvimento efetivo do aluno no aprendizado, já que a prática de ensino não se limita à transmissão do conhecimento que o docente detém. Neste segundo grupo, o docente cria situações de aprendizado nas quais o aluno constrói seu conhecimento, sendo que o professor atua principalmente como “facilitador” e “orientador/motivador”, além de introduzir os aspectos relevantes e que os alunos eventualmente deixam de considerar ao longo da execução das atividades propostas.

Docentes optam por um ou outro estilo – ou ainda uma combinação deles –, e os debates sobre os prós e contras de cada tipo de abordagem são infundáveis.

Em relação a essas duas abordagens distintas de ensino segundo o papel desempenhado pelo docente, Bordenave & Pereira (2002, pg 10), denominam o primeiro grupo de “educação bancária ou convergente”, e o segundo de “educação libertadora ou problematizadora”. Reis (2005, pg 58-59) traz considerações sobre estes 2 distintos tipos de educação. A Tabela 3 sintetiza as características que Bordenave & Pereira (2002, pg 10) descrevem sobre as abordagens.

**Tabela 3** – Características da educação bancária e da educação problematizadora, segundo Bordenave & Pereira (2002, pg 10).

Educação Bancária (convergente)	Educação Problematizadora (libertadora)
Transmissão do conhecimento e da experiência do professor	A solução de problemas implica na participação ativa e no diálogo constante entre alunos e professores
Importância suprema ao conteúdo da matéria	A aprendizagem consiste na pesquisa, onde o aluno passa de uma visão global para uma visão analítica, através da teorização. O objetivo é atingir uma síntese provisória, equivalente à compreensão
Tem objetivo de produzir um aumento no conhecimento do aluno, sem considerá-lo como pessoa integral ou membro de uma comunidade	Da compreensão ampla e profunda da estrutura do problema e de suas consequências, nascem hipóteses de solução de problemas
O aluno é passivo, exímio memorizador, prefere manejar conceitos abstratos a resolver problemas de forma original e criadora	O aluno aprende a selecionar as hipóteses de solução mais viáveis. Da compreensão (síntese), pode-se realizar a prática ou atividade transformadora da realidade.

No presente artigo, considerando a postura do aluno, a “educação bancária ou convergente” é entendida como um método passivo de ensino, enquanto a “educação libertadora ou problematizadora” é entendida como um método participativo.

Existem, basicamente, dois métodos participativos de ensino, que se assemelham. O PBL (Problem Based Learning), desenvolvido no final dos anos de 1960 no Canadá e Holanda, e utilizado desde 1970 em vários cursos de graduação nos Estados Unidos da América, Canadá e Europa. No PBL o aluno é responsável por buscar resolver uma situação problemática prática, a partir de debates em grupo, antes e após estudos individuais. O outro método é denominado Metodologia da Problematização (Berbel, 1998, pg 24-25), que tem por objetivo integrar os três eixos fundamentais do ensino superior moderno, quais sejam: ensino,

pesquisa e extensão. Reis (2005) discute detalhadamente esses dois métodos.

Embora não haja a ampla divulgação de resultados quantitativos de estudos sobre a efetiva eficácia dos métodos participativos de ensino, tudo indica que vinham apresentando melhor desempenho no processo ensino-aprendizado, ao menos até o surgimento das gerações Y e Z.

Por outro lado - embora nem todos os docentes concordem com esta opinião - parece certo que o método de ensino tradicional foi se mostrando menos eficiente com o passar dos anos --, o que pode estar intimamente relacionado às características de cada geração. A este respeito, a Tabela 4 sintetiza conceitos, condutas e atitudes das últimas gerações, com ênfase para a relação com o processo ensino-aprendizado.

**Tabela 4** – Conceitos, condutas e atitudes das últimas gerações, com ênfase para a relação com ensino-aprendizado. Elaborado por Cerri, L.E.S. & Domingues, L.S.V. e sintetizado com base em (\*) Amaral (2004) e (\*\*) Veen & Vrakking (2009).

Geração	Características Principais	Relação com Ensino
<b>Veteranos (*)</b> (1920 - 1943)	- Pautar-se pelo sentido de dever e obediência às regras - Disciplina, lealdade e respeito às hierarquias	- Ensino tradicional, rígido, austero - Forte hierarquia entre professor e aluno
<b>Baby Boomers (*)</b> (1945 - 1960)	- Necessidade enorme de ter participação nos rumos políticos do seu mundo - Achar-se capaz de resolver tudo sozinho	
<b>X (*)</b> (1961 - 1989)	- Aprender a se virar sozinho - Encontrar prazer e sentido nas tarefas que desempenham - Adultos individualistas com necessidade extrema de comunicar sua idéia e sentimentos - Precisam saber como e por que devem trabalhar em determinado projeto - Aversão a estruturas hierárquicas muito rígidas - Trabalhos que permitam ter liberdade de pensar e agir por conta própria	- Punições para indisciplina e erros - Monotarefas - Abordagem linear do conhecimento - Privilegiam textos
<b>Y (*)</b> (1981 - 1989)	- Geração esperta, saudável e tolerante, opera em modo digital - Vivem numa sociedade onde tudo é temporário e moldável - Dificuldade em se concentrar em uma única coisa - Inquietos, ansiosos e impacientes com excesso de direção (muitas atividade, por ex.: natação, inglês etc.)	- Abordagem não linear do conhecimento - Privilegiam imagens, ícones, etc
<b>Z (**)</b> (1990 em diante)	- Nascidos junto com a internet em sua fase visual - Multifuncionais - Relação de intimidade e de experimentação com a tecnologia	

Analisando-se os aspectos relacionados ao ensino apresentados na Tabela 4, nota-se que duas diferenças marcantes se destacam quando se compara as gerações Y e Z com as anteriores: a preferência por formas de apresentação de conteúdos diferentes de textos e a abordagem não-linear. Alunos das gerações Y e Z preferem a informação em formato gráfico (imagens, ícones etc.), enquanto os alunos das gerações anteriores manuseavam principalmente informações na forma de textos. Veteranos, *baby boomers* e Xs estão habituados a ensinar e a aprender tendo como base o sistema “passo a passo”, com abordagem sequencial e gradativa. Já os Ys e Zs preferem uma abordagem

não linear, integrando formas e conteúdos sem respeitar sequência pré-estabelecida.

Outra diferença expressiva no comportamento de alunos das gerações Y e Z em sala de aula em relação aos alunos das gerações anteriores é o tempo máximo de atenção, também denominado capacidade de atenção concentrada ou estado de atenção. Enquanto o tempo máximo de atenção em sala de aula de veteranos, *baby boomers* e Xs era de 50 minutos, alunos da Geração Y apresentam capacidade de atenção concentrada de apenas 07 minutos (Kullock, 2011). Reconhecendo-se estas novas características dos alunos, como é possível obter aproveitamento durante as aulas?

### 3 FUNDAMENTOS PARA O ENSINO VOLTADO À GERAÇÃO Z

A Geração Z, composta por jovens nascidos a partir dos anos 90, é também denominada de Geração M (Multitarefa), ou ainda Geração C (Conectada). Esta geração nasceu juntamente com a internet como a conhecemos hoje, ou seja, uma internet visual, com amplo predomínio de imagens e de rápido e fácil acesso.

Uma característica marcante da Geração Z é a utilização, desde muito cedo, de celulares, laptops, vídeo games e outros aparatos tecnológicos que as mantém conectadas ao mundo digital. A versatilidade e avançada tecnologia desses aparelhos permite que os jovens estejam conectados em qualquer lugar e o tempo todo. Com isso, esses jovens se adaptam facilmente a realizar várias tarefas simultaneamente, utilizando vários tipos de fontes de informação. Ao mesmo tempo em que realizam suas tarefas, conseguem conversar em um mensageiro instantâneo.

Apesar de dominarem as regras básicas da internet, essa geração aprendeu a acessar a internet de forma autônoma, sem uma instrução formal de como avaliar as melhores formas de obter conhecimento. Pela agilidade com que a internet conduz a informação, os Zs preferem obter informações necessárias de forma instantânea, utilizando sites de busca, em detrimento de consultarem material impresso. Entretanto, nem sempre desenvolvem habilidade para realizar uma pesquisa adequada, quase sempre se atendo às informações que aparecem nos primeiros lugares na lista dos buscadores.

Atentos a estas características, bibliotecas, museus e editores/autores de livros didáticos tentam buscar a atenção dessa geração através de *websites* mais atraentes, com conteúdo extra, disponível *online* e contendo diferentes formas de interação.

Sobre o comportamento da Geração Z e a escola, Veen & Vrakking (2009, pg 12) comentam: “A nova geração, que aprendeu a lidar com novas tecnologias, está ingressando em nosso sistema educacional. Essa geração, que chamamos geração *Homo zappiens*, cresceu usando múltiplos recursos tecnológicos desde a infância: o controle remoto da televisão, o *mouse* do computador, o minidisc e, mais recentemente, o telefone celular, o iPod e o aparelho de mp3. Esses recursos

permitiram às crianças de hoje ter controle sobre o fluxo de informações, lidar com informações descontinuas e com a sobrecarga de informações, mesclar comunidades virtuais e reais, comunicarem-se e colaborarem em rede, de acordo com suas necessidades. O *Homo zappiens* é um processador ativo de informação, resolve problemas de maneira muito hábil, usando estratégias de jogo e sabe se comunicar muito bem. Sua relação com a escola mudou profundamente, já que as crianças e os adolescentes *Homo zappiens* consideram a escola apenas um dos pontos de interesse em suas vidas. Muito mais importante para elas são suas redes de amigos, seus trabalhos de meio-turno e os encontros de final de semana. O *Homo zappiens* parece considerar as escolas instituições que não estão conectadas ao seu mundo, como algo mais ou menos irrelevante no que diz respeito à sua vida cotidiana. Dentro das escolas, o *Homo zappiens* demonstra um comportamento hiperativo e atenção limitada a pequenos intervalos de tempo, o que preocupa tanto pais como professores. Mas o *Homo zappiens* quer estar no controle daquilo com que se envolve e não tem paciência para ouvir um professor explicar o mundo de acordo com suas próprias convicções. Na verdade, **o *Homo zappiens* é digital e a escola é analógica.**” (sem grifo no original)

Veen & Vrakking (2009, pg 14) complementam: “Adquirir conteúdo deixará de ser a meta principal da educação, que dará maior ênfase ao que é significativo e relevante. Como consequência, as escolas não mais serão instituições que treinam as crianças para a certeza; em vez disso, as escolas facilitarão a aprendizagem para uma geração que sabe viver e trabalhar em organizações e instituições nas quais o conhecimento é intenso e onde tal geração terá de depender da flexibilidade e da adaptabilidade para lidar com condições e situações que estão em constante mudança.”

Para Veen & Vrakking (2009, pg 98), como o valor do conhecimento está mudando, “saber o quê” não é mais a meta mais importante do aprendizado. As competências de maior necessidade na atualidade e no futuro são “saber como”, “saber por quê” e “saber onde”.

Com base no comportamento da Geração Z, Veen & Vrakking (2009, pg 108-112) apresentam sete princípios gerais que devem fundamentar a educação na era digital, conforme sintetizado na Tabela 5.

**Tabela 5** - Princípios fundamentais para a educação na era digital, sintetizado com base em Veen & Vrakking (2009, pg 108-112).

PRINCÍPIO	DESCRIÇÃO
<b>Confiança</b>	O professor deve confiar no aprendizado realizado pelos alunos, atuando como orientador e permitindo que os alunos decidam como e quando realizarão suas tarefas.
<b>Relevância</b>	O assunto estudado deve ser considerado importante para a vida cotidiana (ou profissional) do aluno, ou seja, o aluno precisa saber o motivo pelo qual está apreendendo o conteúdo. Para isso, o professor deve utilizar exemplos de situações onde o aluno possa aplicar o conteúdo aprendido.
<b>Talento</b>	Em contrapartida ao ensino atual, que expõe e remenda as falhas dos alunos, esta nova proposta tem como objetivo desenvolver os talentos de cada aluno, ao invés de tentar padronizá-los, corrigindo suas falhas. É em seus pontos fortes que os alunos poderão se destacar acima da média.
<b>Desafio</b>	Segundo os alunos da Universidade de Tecnologia de Delft, apenas 10% do que é dito nas aulas é tido como importante. Logo, as aulas convencionais são consideradas desinteressantes. Uma alternativa seria oferecer problemas complexos e desafiadores aos alunos, respeitando seus talentos.
<b>Imersão</b>	Ao invés de dar aulas passo a passo, deve-se deixar que os alunos penetrem em um ambiente de aprendizagem com o uso de recursos multimídia, e que trabalhem horas e/ou dias nesse ambiente. Como exemplo, alunos holandeses aprenderam inglês apenas jogando no computador ou assistindo à televisão.
<b>Paixão</b>	A paixão depende do aluno. O professor deve estimular este sentimento, ajudando o aluno a descobrir suas potencialidades. Em geral as pessoas se apaixonam por algo em que se dão bem. Portanto, talvez isso seja a chave para a motivação, e esta a chave para a aprendizagem.
<b>Autodirecionamento</b>	O professor não pode ser o único responsável pelo que acontece na sala de aula. O aluno deve assumir o controle de sua trajetória de aprendizagem, e isso se torna possível quando o professor cria um ambiente de aprendizado que incorpore os 6 princípios citados anteriormente.

#### 4. UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO INOVADORA

Uma experiência de ensino inovadora, voltada para a Geração Z e fundamentada nos aspectos descritos no presente artigo, vem sendo implantada a partir do 1º semestre letivo de 2011 na Unesp Rio Claro (SP), envolvendo as disciplinas “Introdução à Engenharia Ambiental” - disciplina obrigatória, carga horária de 30 horas, oferecida no 1º semestre do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental - e a disciplina “Geologia de Engenharia” - obrigatória, carga horária de 120 horas, oferecida no 9º semestre do Curso de Graduação em Geologia.

O projeto didático-pedagógico das disciplinas é centrado em página criada para cada disciplina no ambiente da web, com conteúdo composto por materiais instrucionais desenvolvidos pelos docentes responsáveis pelas disciplinas e por alunos, bem como por colaboradores (outros docentes, ex-alunos, profissionais). O conteúdo da página vem sendo gradativamente elaborado durante o período de oferecimento das disciplinas. O material instrucional utilizado em aulas expositivas também é disponibilizado na página

da disciplina, para que os alunos possam rever os conteúdos - ou assisti-los pela primeira vez quando se ausentaram da aula -, podendo fazê-lo quando desejarem e quantas vezes julgarem necessário.

Ao longo do período de oferecimento da disciplina os alunos realizam uma série de atividades obrigatórias, escolhidas pelo próprio aluno a partir de relação fornecida pelos professores. A critério do aluno, tais atividades podem ser individuais ou em grupo de até 05 alunos, e incluem diferentes temas referentes ao conteúdo programático da disciplina.

O produto final da execução de cada atividade é a criação de textos-síntese, apresentações em PowerPoint® (com ou sem áudio) ou vídeo-aulas utilizando softwares específicos ou câmera de vídeo. As atividades são desenvolvidas a partir de artigos, capítulos de livros ou outras fontes bibliográficas indicadas pelos docentes, bem como a partir de trabalhos de campo e ensaios de laboratório. A elaboração de relatórios técnicos também faz parte das atividades realizadas.

A relação do material bibliográfico básico para a execução das atividades citadas é fornecida pelos docentes somente em casos particulares,

sendo sempre proposto aos alunos que realizem pesquisa para obtenção das informações essenciais ao desenvolvimento da investigação.

As aulas expositivas foram reduzidas ao mínimo, sendo que nos horários das aulas, à medida da necessidade, os docentes apresentam informações básicas e complementares associadas aos temas que os alunos estão pesquisando no momento. A realização de debates fundamentados nos progressos apresentados pelos alunos durante a pesquisa é freqüente.

Os produtos resultantes das atividades realizadas pelos alunos são gradativamente disponibilizados na página da disciplina, possibilitando que os demais alunos adquiram conhecimentos a partir do estudo dos conteúdos destes produtos, ou seja, os alunos criam produtos por meio dos quais seus colegas aprendem.

Uma das principais características dos produtos citados é que, estando constantemente disponíveis na internet, permitem que os alunos possuam alto grau de liberdade em seu processo de aprendizagem. Mesmo sendo instruídos a estudar todo o conteúdo da página, cabe somente a eles decidir quando, onde, como e com quem o farão.

Cada produto criado pelos alunos é avaliado pelo docente, que atribui nota de 0 a 10, considerando os seguintes aspectos: a) abordagem do tema: se todos os tópicos essenciais do tema foram tratados, b) capacidade de síntese, e c) qualidade didática: se possibilita que os demais alunos utilizem o material produzido como fonte de aprendizado.

No início do período de oferecimento da disciplina os alunos criam portfólios individuais a partir de modelo-padrão fornecido pelos docentes, nos quais relatam cada atividade executada, seja ela individual ou em grupo. Os relatos devem conter o período de realização e a descrição detalhada da atividade e, especialmente, a descrição do aprendizado obtido com o desenvolvimento de cada atividade, a relevância deste aprendizado para a futura atuação profissional e exemplos de utilização do conhecimento adquirido.

Estes portfólios são mantidos atualizados pelos alunos à medida que executam suas atividades, sendo disponibilizados na página da disciplina, a fim de que outros alunos tenham acesso aos portfólios dos colegas para efetuar uma análise comparativa, se julgarem interessante.

Os portfólios desempenham importante papel na disciplina, já que tem maior peso no processo de avaliação dos alunos, com atribuição de notas de 0 a 10, considerando os seguintes aspectos: a) cumprimento das atividades propostas, b) qualidade da descrição do aprendizado adquirido, da relevância para a futura atuação profissional e dos exemplos de utilização do conhecimento adquirido, e c) capacidade de redação (clareza e objetividade do texto elaborado).

Como as disciplinas são semestrais, são fixadas duas datas para avaliação dos portfólios, ou seja, cada portfólio é avaliado, em média, a cada dois meses.

A página tem também algumas outras seções específicas, como por exemplo: a) bibliografia básica da disciplina, b) bibliografia complementar, importante para a formação profissional e que contempla temas correlatos à disciplina, c) indicação de livros não técnicos que podem contribuir para que a atuação dos alunos no mercado de trabalho seja facilitada, d) sites e arquivos de interesse, referentes ou não ao conteúdo programático da disciplina.

A página da disciplina também possibilita conectividade entre os alunos, dado que aos produtos disponibilizados na página podem ser postados comentários e/ou perguntas. Com este recurso, qualquer dúvida sobre o conteúdo de determinado produto pode ser discutida entre os alunos, utilizando-se da própria página da disciplina. Os docentes acompanham este processo e apresentam esclarecimentos adicionais durante as aulas e/ou na própria página. Os docentes também indicam quais produtos disponibilizados na página devem ser objeto de comentários e/ou perguntas por parte de cada aluno matriculado na disciplina.

A conectividade entre alunos e destes com os professores não é limitada à página da disciplina, podendo se estender, em horários preestabelecidos, a outras formas de comunicação, como e-mail, Skype ou MSN.

As páginas das disciplinas apresentam conteúdo dinâmico e que pode ser atualizado continuamente. O acesso à página é livre, podendo haver interação entre os alunos matriculados na disciplina e graduandos de outras Universidades, aos quais é oferecido o acesso aos conteúdos da

página. Ao término do semestre de oferecimento da disciplina os arquivos da página da internet são deletados, para poderem ser gradativamente disponibilizados no próximo período de oferecimento da disciplina.

Como em toda iniciativa inovadora, surgem falhas e dificuldades, superadas por meio de debates entre os docentes e os alunos. Entretanto, embora ainda em fase experimental e não testando todos os recursos de utilização previstos, a avaliação preliminar da experiência didática inovadora, realizada por meio de questionários preenchidos pelos alunos ao final do oferecimento da disciplina, é de que os objetivos inicialmente fixados estão sendo atingidos. Por esta razão, e pela oportunidade de discutir tema tão importante, optou-se por elaborar o presente artigo, na tentativa de colaborar com colegas interessados no assunto. À época de redação do presente artigo (2011) os alunos da Geração Z já são maioria em nossas universidades e começam a se inserir no mercado de trabalho.

A avaliação preliminar da experiência também proporcionou constatar que o contínuo acompanhamento dos docentes permanece essencial para que os alunos executem suas investigações de modo eficiente.

## BIBLIOGRAFIA

Amaral, S. E. 2004 **Virando gente grande: como orientar os jovens em início de carreira**. Editora Gente, São Paulo, 144 pp.

Berbel, N.A.N. (Org) 1998 **Metodologia da Problematização: experiências com questões de ensino superior**. Ed. UEL, Londrina, 282 pp.

Bordenave, J.D.; Pereira, A.M. 2002 **Estratégias de ensino-aprendizagem**. 24<sup>a</sup> Ed., Editora Vozes, Petrópolis, 312pp.

Cavagutti, N. 1993 **Problemas e Perspectivas no Ensino da Geologia de Engenharia** In: CBGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, **Anais**, p. 69-75.

Cunha, M.A.; Vertamatti, E.; Soares, L. 1993 O Fator Pedagógico do Ensino da Geologia de Engenharia em Especializações Profissionais: A Experiência de 15 Anos do ITA In: CBGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, **Anais**, p. 77-81.

Kullock, E. 2011. Como a Geração Y aprende? Disponível em: <http://www.focoemgeracoes.com.br/index.php/2009/06/09/como-a-geracao-y-aprende/>. Acessado em: 15 fev 2011.

Lima, D.C.; Fussaro, F.; Minette, E.; Virgilli, J.C.; Bueno, B.S. 1993 O Curso de Mestrado em Geotecnia da UFV: Similaridades e Inovações com Relação a outros Programas Nacionais In: CBGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, **Anais**, p. 63-68.

Reis, F.A.G.V. 2005. **Aplicação da Metodologia da Problematização em Disciplinas de Engenharia Ambiental**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (Unesp Rio Claro - SP). 217 p.

Soares, L.; Frazão, E.B. 1993. Adequação Profissional do Geólogo para o Ano 2000 In: CBGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, **Anais**, p. 83-87.

Tsutiya, A. M. 1993. Profissional de Geologia de Engenharia para o Ano 2000: Análise e Perspectivas In: CBGE, Congresso Brasileiro de Geologia De Engenharia, 7, **Anais**, p. 89-94.

Veen, W.; Vrakking, B. 2009. **Homo zappiens: educando na era digital**. Tradução Vinicius Figueira. Artmed, Porto Alegre, 141 pp.