



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

Alessandra Cristina Corsi - IPT
Prof. Dr. Emílio Velloso Barroso - UFRJ
Prof. Dra. Kátia Canil - UFABC
Prof. Dra. Malva Andrea Mancuso - UFSM
Prof. Me. Marcelo Denser Monteiro - Metrô - SP / UAM

REVISORES

Adalberto Aurélio Azevedo - IPT	José Domingos Gallas - USP
Alberto Pio Fiori - UFPR	José Eduardo Rodrigues - USP
Aline Freitas da Silva - DRM-RJ	José Eduardo Zaine - UNESP
Alessandra Cristina Corsi - IPT	José Luiz Albuquerque Filho - IPT
Angelo José Consoni - TSAP	Kátia Canil - UFABC
Antonio Cendrero - Univ. da Cantabria (Espanha)	Leandro Eugênio da Silva Cerri - UNESP
Antonio Manoel Santos Oliveira - UNG	Lídia K. Tominaga - IG/SMA
Candido Bordeaux Rego Neto - IPUF	Luis de Almeida Prado Bacellar - UFOP
Clovis Gonzatti - CIENTEC	Luiz Nishiyama - UFU
Denise de la Corte Bacci - USP	Luiz Fernando D'Agostino - Nucleo
Diana Sarita Hamburger - UFABC	Malva Andrea Mancuso - UFSM
Dirceu Pagotto Stein - Geoexec	Marcelo Fischer Gramani - IPT
Edilson Pissato - USP	Marcilene Dantas Ferreira - UFSCar
Eduardo Brandau Quitete - IPT	Marcelo Denser Monteiro - Metrô - SP / UAM
Eduardo Goulart Collares - UEMG	Marcia Pressinotti - IG/SMA
Eduardo Soares de Macedo - IPT	Marcio A. Cunha - Consultor
Emilio Velloso Barroso - UFRJ	Maria Cristina Jacinto Almeida - IPT
Eraldo L. Pastore - Consultor	Maria Heloisa B.O. Frascá - Consultora
Fábio Soares Magalhães - Vogbr	Maria José Brollo - IG/SMA
Flávio Almeida da Silva - Engecorps	Marta Luzia de Souza - UEM
Frederico Garcia Sobreira - UFOP	Nelson Meirim Coutinho - GEORIO
Ginaldo Campanha - USP	Newton Moreira de Souza - UnB
Guido Guidicini - Geoenergia	Noris Costa Diniz - UnB
Helena Polivanov - UFRJ	Oswaldo Augusto Filho - USP
Jair Santoro - IG/SMA	Reinaldo Lorandi - UFSCar
João Francisco Alves Silveira - Consultor	Renato Luiz Prado - USP
Jorge Kazuo Yamamoto - USP	Ricardo Vedovello - IG/SMA
José Alcino Rodrigues de Carvalho - Univ. Nova de Lisboa (Port.)	Yociteru Hasui - Consultor
José Augusto de Lollo - UNESP	

APOIO EDITORIAL

Luciana Marques

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Rita Motta - Editora Tribo da Ilha

Volume 5 - Número 2

2015

ISSN 2237-4590

DIRETORIA ABGE GESTÃO 2016/2018

Presidente: Adalberto Aurélio Azevedo
Vice Presidente: Lídia Keiko Tominaga
Diretor Secretário: Alessandra Cristina Corsi
Diretor Secretário Adjunto: Deyna Pinho
Diretor Financeiro: José Luiz Albuquerque Filho
Diretor de Cursos: Ivan José DELatim
Diretora de Eventos: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis
Diretora de Eventos Adjunto: Renata Augusta Rocha N. de Oliveira
Diretor de Comunicação: Marcelo Denser Monteiro
Diretor de Comunicação Adjunto: Tiago Antonelli
Diretor de Publicação: Andrea Bartorelli
Diretor de Publicação Adjunto: Edilson Pissato

CONSELHO DELIBERATIVO

Adalberto Azevedo, Alessandra Corsi, Andrea Bartorelli, Deyna Pinho, Edilson Pissato, Fábio Reis, Flávio Almeida, Glaucia Cuchierato, Ivan Delatim, José Luiz Albuquerque Filho, Leandro Castro, Lídia Tominaga, Luiz Fernando, Marcelo Denser, Mateus Delatim, Renata Rocha, Silvia Kitaraha e Tiago Antonelli.

NÚCLEO RIO DE JANEIRO - Aline Freitas das Silva

Conselho Deliberativo: Aline Freitas Silva, Hugo Machado, Rodrigo França, Rodney Nascimento, Rúbia Azevedo e Thiago Santos

NÚCLEO MINAS GERAIS - Fábio Magalhães

Conselho Deliberativo: Alberto Amaral, Fábio Magalhães, Gilvan Sá, Luis Bacellar, Maria Giovana Parizzi, Sandra Fernandes e Thiago Teixeira

NÚCLEO SUL - Malva Andrea Mancuso

Conselho Deliberativo: Alberto P. Fiori, Andrea V. Nummer, Débora Lamberty, Eduardo C.B. Carvalho, Erik Wunder, Hermann Vargas, Juan Antonio A. Flores, Luiz A. Bressani e Malva Andrea Mancuso.

NÚCLEO CENTRO OESTE - Ingrid Lima

Conselho Deliberativo: Bruno Diniz, Dário Peixoto, Getúlio Ezequiel, Ingrid Lima, João Armelin, Kurt Albrecht, Juliana Sobreira e Ricardo Vilhena

NÚCLEO NORTE - Cláudio Szlafstein

Conselho Deliberativo: Dianne Danielle Farias Fonseca, Lenilson José Souza de Queiroz, Luciana de Jesus P.P. Miyagawa, José Antonio da Silva, Renato R. Mendonça, Jubal C. Filho e Nilton de Souza Campelo, Loury Bastos, Patrícia Mara Lages Simões, Raimundo Almir C. da Conceição, Sheila Gatinho Teixeira, Túlio A. de Araújo Mendes.

NÚCLEO NORDESTE - Carlos Henrique Medeiros

Conselho Deliberativo: Edval Lopes da Silva, Fagner França, Francisco Said Gonçalves, Heitor Neves Maia, José Braz Diniz Filho, Kleiton Cassimiro, José Vitoriano de Britto Neto, Marcos Paulo Souza Novais, Olavo Santos Junior, Ubiratã Maciel, Ricardo Farias do Amaral e Vanildo Fonseca



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

SECRETARIA EXECUTIVA

Secretária Executiva: Luciana Marques
Av. Profº Almeida Prado, 532 - Prédio 11 -
Cidade Universitária - São Paulo - SP
Telefone: (11) 3767-4361 / (11) 3719-0661
Email: abge@abge.org.br - Home Page: www.abge.org.br



É com grande satisfação que apresentamos o segundo número da Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) do ano de 2015. Os artigos publicados abordam diferentes temas na área da Geologia de Engenharia e Ambiental, sendo de interesse de todos os associados da ABGE.

Maurício Pozzobon e colaboradores tratam da análise da suscetibilidade a deslizamentos da unidade geomorfológica Serrania do Baixo e Médio Itajaí-Açu, no município de Blumenau/SC. Os autores aplicaram a regra de Bayes da probabilidade condicional, através da técnica de pesos de evidência, para analisar as relações espaciais entre um conjunto de potenciais fatores condicionantes de deslizamentos e um conjunto de 205 cicatrizes de deslizamentos ocorridos em 2008, na área de estudo. São apresentadas 6 diferentes combinações de integração dos fatores.

O artigo apresentado por Daniela Garroux Gonçalves de Oliveira e colaboradores aborda a aplicação do televisionamento de sondagens em uma fase de projeto básico do Metrô de São Paulo. A partir dos dados de estruturas obtidas em 17 sondagens, com a perfilagem de 503 metros de rocha, foram definidos os principais blocos formados e analisada a estabilidade destes ao longo dos trechos de túnel e nas paredes de vala de estações e poços.

Marcos Tanaka Riyis e coautores apresentam um estudo de caso onde diversas ferramentas de investigação de alta resolução foram utilizadas em conjunto para determinar, delimitar e caracterizar as diversas camadas estratigráficas de um

solo residual contaminado por óleo lubrificante para a estimativa da massa de contaminantes.

Uma metodologia alternativa para determinação do escoamento superficial por chuva e dos sedimentos gerados por erosão em taludes naturais ou construídos, aplicada por meio da adoção de um sistema de chapas de coletas é proposto no trabalho de Jucielli Quatrin Nunes e colaboradores da UFTPR e da UNESP.

Vitor Santini Müller e coautores da UFSC publicam um artigo onde apresentam um protocolo para a realização, em campo, de ensaios de cisalhamento direto em regime de múltiplos estágios no contexto de mapeamento geotécnico; uma alternativa que possibilita a obtenção expedita de parâmetros de resistência a partir de uma adaptação do equipamento tradicionalmente utilizado em laboratório.

O artigo de Fábio Conrado de Queiróz e colaboradores apresenta uma compilação de dados de propriedades e parâmetros físicos do acervo de rochas silicatadas do IPT, composto por um universo de 412 amostras. Os resultados desta compilação contribuem significativamente com a definição de parâmetros para estudos futuros.

Estamos certos de que o conjunto das informações disponíveis em mais este número da RBGEA configura uma contribuição relevante de profissionais da área de Geologia de Engenharia e Ambiental para a aplicação de novas metodologias e novos procedimentos na área.

Desejamos a todos uma ótima leitura!



- 9** ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRANIA DO BAIXO E MÉDIO ITAJAÍ-AÇU, NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC
Maurício Pozzobon
Gustavo R. Curcio
Claudinei T. da Silveira
- 26** APLICAÇÃO DO TELEVISIONAMENTO DE SONDAgens EM FASE DE PROJETO BÁSICO DO METRÔ DE SÃO PAULO
Daniela Garroux Gonçalves de Oliveira
Marcelo Denser Monteiro
Fabio Taioli
Hugo Cassio Rocha
Gabriel Guimarães Facuri
Alessandro Lugli Nascimento
- 38** ESTIMATIVA DA MASSA DE CONTAMINANTES COMPARANDO TÉCNICAS TRADICIONAIS COM FERRAMENTAS DE INVESTIGAÇÃO DE ALTA RESOLUÇÃO (HRSC)
Marcos Tanaka Riyis
Heraldo Luiz Giacheti
Mauro Tanaka Riyis
Rafael Muraro Derrite
- 50** METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL POR CHUVA E DOS SEDIMENTOS GERADOS POR EROSÃO EM ENCOSTAS
Jucielli Quatrin Nunes
Vitor André Genehr
Simone Andrea Furegatti
- 61** PROPOSIÇÕES PARA UM CISALHAMENTO DIRETO DE CAMPO: ALTERNATIVA EM MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS
Vitor Santini Müller
Nilo Rodrigues Júnior
Matheus Klein Flac
Murilo da Silva Espíndola
Regiane Mara Sbroglia
Rafael Augusto dos Reis Higashi
Juan Antonio Altamirano Flores

■ APLICAÇÃO DO TELEVISIONAMENTO ■ DE SONDAGENS EM FASE DE PROJETO ■ BÁSICO DO METRÔ DE SÃO PAULO

OPTICAL TELEVIEWER APPLICATION IN THE BOREHOLES IN BASIC
DESIGN PHASE OF THE SÃO PAULO SUBWAY

DANIELA GARROUX GONÇALVES DE OLIVEIRA

PhD Student, Queen's University/EBEL, Kingston, ON, Canadá

Email: d.oliveira@queensu.ca

MARCELO DENSER MONTEIRO

Companhia do Metropolitano de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Email: mdmonteiro@metrosp.com.br

FABIO TAIOLI

Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Email: ftaioli@usp.br

HUGO CÁSSIO ROCHA

Companhia do Metropolitano de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Email: hcrocha@metrosp.com.br

GABRIEL GUIMARÃES FACURI

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, São Paulo, SP, Brasil

Email: gfacuri@hotmail.com

ALESSANDRO LUGLI NASCIMENTO

Telford Engenharia, Santo André, SP, Brasil

Email: alessandro@telfordeng.com

RESUMO ABSTRACT

A caracterização de um maciço rochoso constitui um passo essencial na geologia de engenharia, proporcionando a possibilidade de previsão do comportamento deste maciço frente às solicitações de qualquer obra a ser realizada. No caso de obras subterrâneas urbanas, como linhas metroviárias, esta caracterização é fundamental para a identificação de condicionantes geológicos associados à sua estabilidade. Neste contexto, foram desenvolvidas novas tecnologias como, por exemplo, o televisionamento de sondagens (OPTV), que consiste na obtenção de imagens das paredes do furo, fornecendo o que pode ser chamado de testemunho virtual. Foi inicialmente proposta uma metodologia em Oliveira et al. (2013), e posteriormente desenvolvida em Oliveira (2015), tendo sido sistematicamente aplicada ao longo

The rock mass characterization is an essential step in engineering geology, providing the possibility of behaviour prediction of this rock mass towards requests for any work to be done, especially excavations. In the case of urban underground works, such as subway lines, this characterization is essential for identifying geological conditions linked to their stability. In this context, new technologies have been developed, for example, the optical televiewer (OPTV), which consists in imaging the borehole walls, providing what might be called a virtual core. It was first proposed a methodology in Oliveira et al. (2013), and later developed in Oliveira (2015), where this methodology has been systematically applied throughout the geological and geotechnical studies of the São Paulo Metro. This paper presents the

de campanhas de investigação geológico-geotécnica do Metrô de São Paulo. Este estudo aborda uma aplicação em um de seus projetos, por meio de dados obtidos de 17 sondagens, totalizando 503 metros de rocha filmados, que foram utilizados para a classificação geomecânica do maciço pelo sistema RMR e suas descontinuidades. Gráficos estatísticos foram criados com as características das descontinuidades, considerando parâmetros como fraturamento, frequência, abertura, rugosidade e o intemperismo das paredes. Além disso, os dados de orientação dos planos de fraturas foram processados usando o software DIPS e, em seguida, realizada análise cinemática de estabilidade do maciço, utilizando o software UNWEDGE, definindo os principais blocos formados ao longo do trecho de túnel, além de análises das paredes da vala de estações e poços. Este trabalho não só mostra esta metodologia sugerida para investigação com o televisionamento de sondagens, mas também como esta técnica poderá ser aplicada na elaboração de projetos de escavação subterrânea.

Palavras-chave: Televisionamento de sondagens, OPTV, túneis urbanos, análise e caracterização de estabilidade de maciço rochoso.

1 INTRODUÇÃO

O televisionamento de sondagens é uma tecnologia empregada no Brasil desde 2001. Em 2013, o Manual de Sondagens da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE 2013) inseriu tópicos sobre esta ferramenta de investigação, sem apresentar especificações mais detalhadas de uma interpretação sistemática dos dados. Por outro lado, há uma ausência de sugestões de como esses dados poderiam ser aplicados para projetos de infraestrutura, uma vez que não existem documentos normativos para este.

Levando em consideração o método sugerido por ISRM (1978), já utilizado como padrão para caracterização de maciços rochosos, foram propostas diretrizes para atingir a mesma padronização em dados obtidos no televisionamento de sondagens. Este estudo foi aplicado em uma campanha de investigação geológico-geotécnica do Projeto Básico de uma linha do Metrô de São Paulo; os dados de televisionamento foram amplamente utilizados para a caracterização do maciço geológico e suas descontinuidades ao longo do traçado do túnel, assim como efetuada

results of a project with the analysis of 17 boreholes data, totalizing 503 meters of filmed rock, was used for the rock mass geomechanical classification (RMR) and its discontinuities. Statistical graphics were created with the discontinuities characteristics, considering parameters such as fracturing, opening, roughness and weathering of the walls. Furthermore, the fracture planes orientation data were processed, using the Software DIPS and performed kinematic stability analysis, applying the Software UNWEDGE, defining the main blocks formed along the tunnel axis and along a Station trench walls, besides connection tunnels and shafts. This work not only presents this suggested methodology for investigation with the optical televiewer, but also how this technique can be applied in the tunnelling design.

Keywords: Borehole Imaging, Optical Televiewer, Urban Tunnelling, Rock Mass Characterization, Rock Mass Stability Analysis

a análise de estabilidade das paredes de estações, poços e túneis de ligação, resultando em uma contribuição essencial para as soluções de engenharia adotadas.

2 METODOLOGIA PROPOSTA PARA O TELEVISIONAMENTO DE SONDAJENS

Os parâmetros sugeridos para a descrição do maciço rochoso que podem ser observados nas imagens do televisionamento de sondagens são litologia, estrutura, textura, composição mineralógica e grau de intemperismo. Sugere-se a utilização de uma planilha indicando as várias seções definidas para o maciço, como indicado na Tabela 1. Em sua caracterização é essencial descrever as estruturas penetrativas como foliação, xistosidade, bandamento, estratificação e venulação. A Tabela 2 apresenta a descrição dessas estruturas penetrativas. Sobre o grau de intemperismo da rocha, é possível apenas fazer uma caracterização limitada, onde podem ser notadas variações nas cores e no brilho dos minerais (Figura 1). Para descrever o grau de intemperismo é sugerida a Tabela 3.

Tabela 1. Caracterização do maciço rochoso.

Prof. (m)	FURO SM-132						
	Espessura (m)	Unidade	Litologia	Estrutura	Textura	Composição mineralógica	Grau de intemperismo
19,92	0,32	Embasamento da Bacia de São Paulo	Gnaiss	Gnáissica, com foliação evidente e bandamento	Inequigranular média a grossa, com megacristais de feldspato	Principalmente quartzo e feldspato, com minerais máficos subordinados como biotita	II
20,24	5,46						I
25,7	2,8						II
28,5	0,95						I
29,45	0,19						II
29,64	11,19						I
40,83	0,95						II
41,78	8,4						III

Tabela 2. Estruturas penetrativas para o OPTV.

Núm.	FURO SM-5902						
	Profundidade (m)	Espessura (cm)	Direção de mergulho	Mergulho	Litologia	Tipo de estrutura	Grau de intemperismo
66	32,6	10	242	28	Quartzo	Foliação	I
74	33,2		356	30		Veio	
75	33,4		244	35		Foliação	
90	33,5		250	34		Foliação	
93	33,6	20	243	42	Máfico	Bandamento	II
97	34,4	8	312	32	Máfico	Veio	II
99	34,6	8	236	65	Máfico	Foliação	II

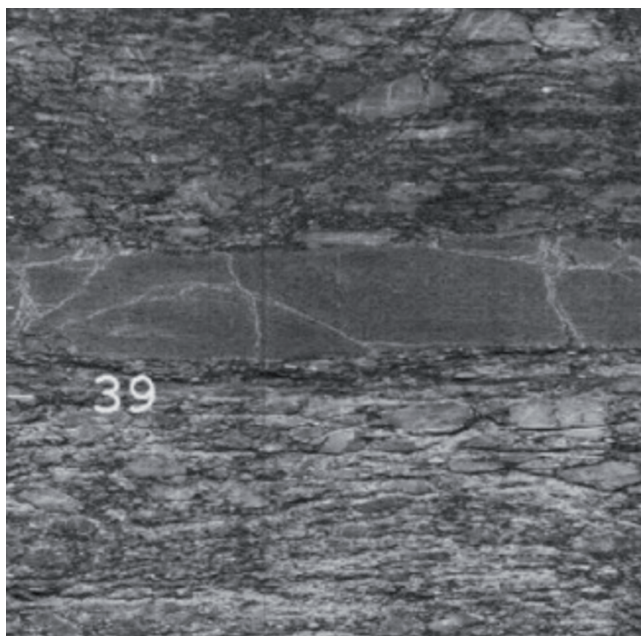


Figura 1. Comparação entre trechos menos (superior) e mais (inferior) alterados (Fonte: Metrô-SP).

Tabela 3. Grau de intemperismo (adaptado de ISRM 1978).

Grau	Descrição	Descrição do maciço
I	Sã	Nenhum sinal visível de intemperismo da rocha ou ligeira descoloração.
II	Levemente intemperizado	Todo o material rochoso pode estar descolorido pelo intemperismo.
III	Medianamente intemperizado	Menos da metade da rocha é decomposto e/ou desintegrou-se a solo.
IV (IV a VI)	Altamente intemperizado	Mais da metade do material rochoso é decomposto e ou desintegrou-se a solo.

Nas imagens do televisionamento os parâmetros das discontinuidades que podem ser descritos são orientação (mergulho/direção de mergulho), tipo de estrutura, espaçamento, rugosidade, abertura, preenchimento, grau de

intemperismo e fluxo de água subterrânea. Todos os parâmetros podem ser descritos e apresentados em uma tabela, como sugerido na Tabela 4. Para o parâmetro de rugosidade das paredes só foi possível observar a rugosidade em escala de detalhe nos dados do televisionamento óptico. Os perfis de rugosidade sugeridos por Barton (1987), apresentados na Figura 2, foram modificados separando-os em perfis de menor detalhe, sendo possível

caracterizar as discontinuidades apenas em rugosas, lisas ou polidas (Figura 2). Pela condição de intemperismo da parede é possível deduzir o grau de intemperismo de uma discontinuidade, levando em conta o brilho do mineral ao longo das feições. As condições de intemperismo das paredes e a presença de preenchimento podem ser caracterizados usando a Tabela 5, modificada de IPT (1984).

Tabela 4. Exemplo de tabela de caracterização de discontinuidades em um log virtual.

FURO SM-5902												
Número	Profundidade (m)	Direção de mergulho	Mergulho	Tipo de estrutura	Espaçamento (m)	Rugosidade	Abertura	Preenchimento	Espessura (cm)	Alteração	Percolação D'Água	Grau de fraturamento
1	52,86	290	37	Fratura	0	Lisa	Fecha-da	Nenhum	0	D1	-	
2	53,00	310	39	Fratura	0,14	Lisa	Fecha-da	Máficasas	1	D2	-	F2
3	53,18	338	25	Fratura	0,18	Rugosa	Semi-aberta	Argila	0,5	D3	-	
4	53,20	335	27	Falha	0,02	Polida	Semi-aberta	Argila	0,8	D4	-	F1
5	53,25	20W	35	Fratura	0,05	Rugosa	Aberta	Nenhum	2	D4	Oxidada	
6	53,41	116	74	Fratura	0,16	Rugosa	Fecha-da	Quartzo	1	D2	-	F3
7	53,49	111	69	Fratura	0,08	Lisa	Semi-aberta	Nenhum	0	D4	-	

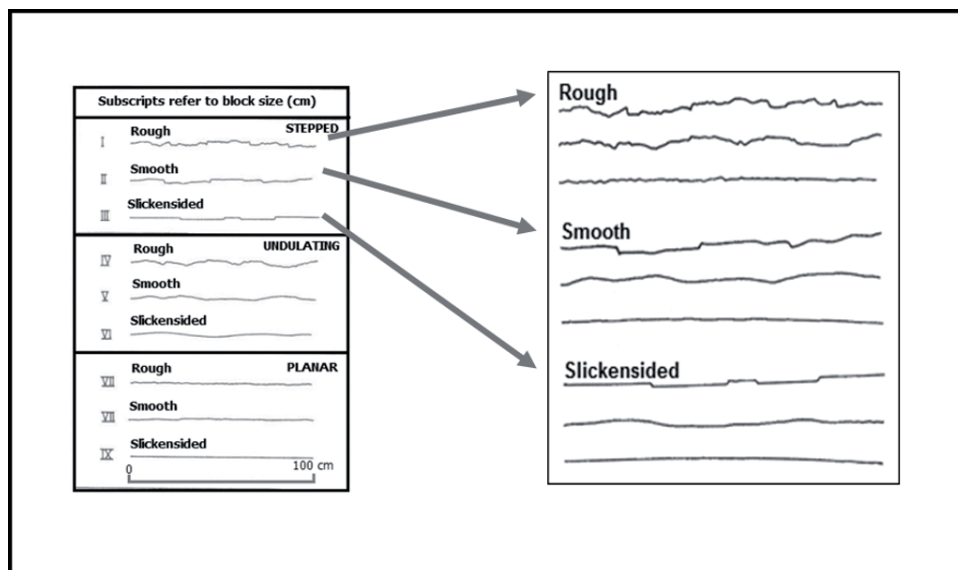


Figura 2. Perfis de rugosidade, à esquerda, segundo Barton (1987) e os perfis de rugosidade adaptados para perfis virtuais em escala de perfuração, à direita.

Tabela 5. Preenchimento e a caracterização do intemperismo das paredes, modificado de IPT (1984).

Grau	Condições de alteração e preenchimento das paredes de descontinuidades
D1	Contato rocha-rocha, paredes sãs, sem preenchimento, brilho intenso.
D2	Contato rocha-rocha, preenchimento de material pétreo rijo (Qtzo, calcita).
D3	Paredes com alteração incipiente, brilho mais fraco, sinais de percolação d'água, oxidadas, sem preenchimento.
D4	Paredes alteradas, brilho fraco, preenchimento ausente, fratura aberta.
D5	Paredes alteradas, sem brilho, com preenchimento de fragmentos de rocha.
D6	Paredes alteradas, sem brilho, com preenchimento de argila e/ou areia.
D7	Paredes alteradas, sem brilho, com preenchimento distinto ou não identificado.

Para o grau de fraturamento, aqui exposto como planos de descontinuidade descritos por metro, definido em isofraturamento (trechos de similar grau de fraturamento), utiliza-se a Tabela 6. O grau de fraturamento das descontinuidades deve ser indicado como mostrado na Tabela 4, usando os parâmetros da Tabela 6. Somente descontinuidades relevantes devem levadas em consideração, que muito provavelmente envolveria

quebras no testemunho ao longo deste plano. E por isso o espaçamento pode ser diretamente calculado em função da distância entre cada fratura. Propõem-se também usar a frequência das descontinuidades para calcular o RQD teórico, como proposto por Priest & Hudson (1976), considerando aqui que um testemunho virtual pode ser diretamente análogo a uma scanline, linha de medida, conforme detalhado em Oliveira (2015).

Tabela 6. Grau de frequência de descontinuidades, modificado de IPT (1984).

Grau	Descontinuidades/m	Frequência de descontinuidades
F1	< 1	Ocasionalmente fraturada
F2	1 a 5	Ligeiramente fraturada
F3	6 a 10	Medianamente fraturada
F4	11 a 20	Muito fraturada
F5	> 20	Extremamente fraturada

3 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES

O trecho em estudo está localizado ao longo da borda sudoeste da Bacia Sedimentar de São Paulo, atravessando quase exclusivamente rochas do embasamento pertencentes ao Complexo Embu, localmente coberto por seu manto de intemperismo e por sedimentos do Paleógeno e Quaternário, além de uma fina camada de aterro. O maciço inteiro é caracterizado por rochas gnáissicas e migmatíticas, foliadas e fortemente condicionadas por um componente estrutural influenciado por grandes zonas de cisalhamento. Além da estrutura bandada, este maciço é caracterizado por topo rochoso bastante irregular, ocorrendo heterogeneidade tanto vertical como horizontal,

sendo certamente um desafio para a previsão do comportamento do maciço frente às escavações.

Levando em consideração os dados do televisionamento das paredes de 17 furos, após a aplicação da metodologia proposta no item 2, o grau de intemperismo, abertura e rugosidade das descontinuidades, bem como dados sobre o grau de fraturamento, foram descritos e considerados para a elaboração de gráficos tipo pizza, indicando a porcentagem de cada parâmetro ao longo do trecho filmado. Cada gráfico para cada furo foi considerado e plotado em um mapa do trecho da linha, usando o software ArcGIS e imagens do Google Earth, sendo possível, dessa forma, compreender como cada parâmetro variava ao longo da linha.

A Figura 3 mostra estes gráficos, considerando a variação do grau de intemperismo das descontinuidades como parâmetro principal, tendo a

Tabela 5 como base de classificação. No geral, as piores condições de intemperismo para descontinuidades concentram-se na região das sondagens 4536, 4539, 4540, 4545 e 4603 e na sondagem 4559, que também apresenta uma quantidade significativa de rocha fragmentada, juntamente com sedimentos argilo-arenosos. É importante mencionar que essas fraturas classificadas como D5 e/ou D6 são juntas abertas, onde este fator, juntamente com o tipo de preenchimento, implica em uma redução significativa da força de cisalhamento.

Para o parâmetro de abertura das descontinuidades considerou-se os métodos de ISRM (1978), classificando-as como abertas, semiabertas ou fechadas. Os resultados são apresentados na Figura 4 e apoiam os dados da Figura 3, onde as piores fraturas, neste caso as abertas, estão também na região supracitada. Os furos 4505, 4580 e 4596 também apresentaram uma quantidade significativa de fraturas semiabertas e abertas.

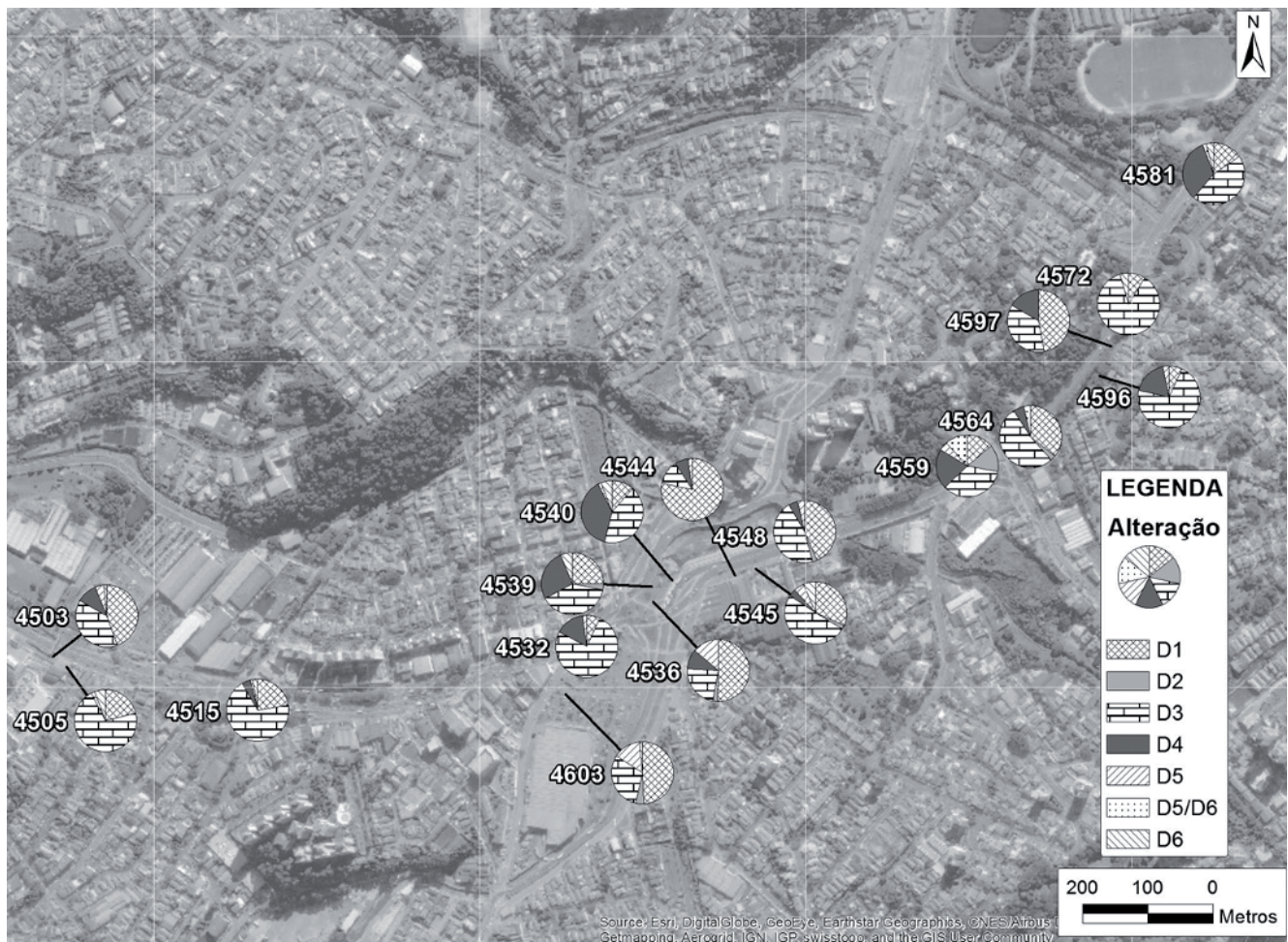


Figura 3. Variação do parâmetro alteração das paredes das descontinuidades ao longo do trecho.

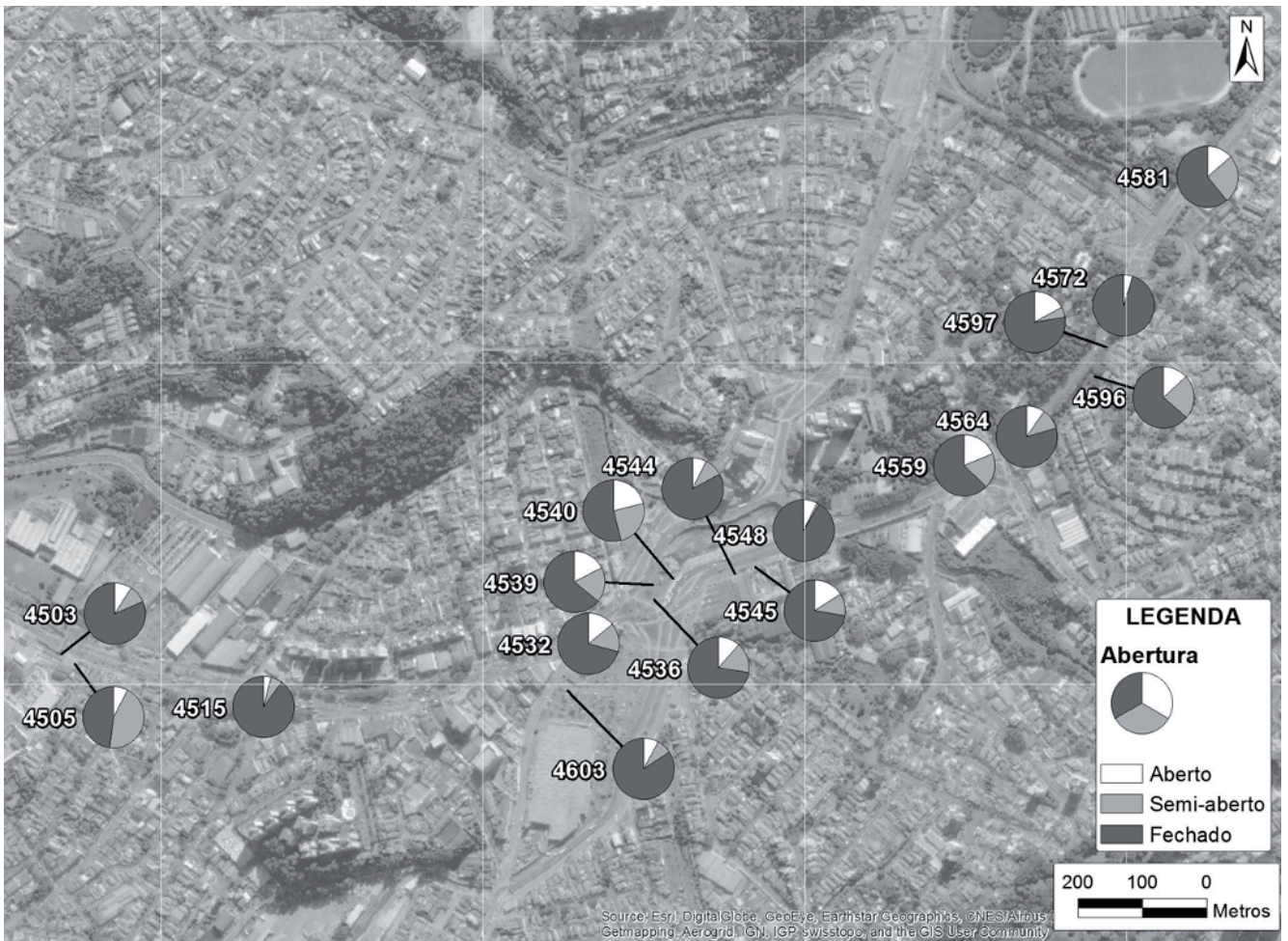


Figura 4. Variação do parâmetro abertura das descontinuidades ao longo do trecho.

A Figura 5 ilustra a variação do parâmetro rugosidade. As fraturas foram descritas como rugosas, lisas ou polidas, esta última quando verificada a influência de zona de falha. Nos furos 4503, 4505, 4539, 4545 e 4559, há um aumento da frequência de fraturas lisas, condição geomecânica inferior a de um plano rugoso. Também é possível observar a ocorrência de uma fratura com superfície polida no furo 4580, relacionada a um plano de falha observada na imagem de televisionamento, informação essencial ao projeto.

Finalmente, na Figura 6, considerou-se a variação do grau de fraturamento. Como observado

nesta figura, os furos mais fraturados são classificados, em sua maioria como F4, ao longo dos furos 4503, 4515, 4544, 4545, 4548, 4564 e 4597. A região das sondagens 4536, 4539, 4540, 4545 e 4603, apesar de apresentar descontinuidades mais intemperizadas e piores condições de abertura, não apresenta tantas fraturas como nas demais regiões. Ilustra-se, portanto, como o maciço rochoso pode ser caracterizado com as imagens de televisionamento óptico ao longo do trecho, complementando as informações dos testemunhos de sondagem.

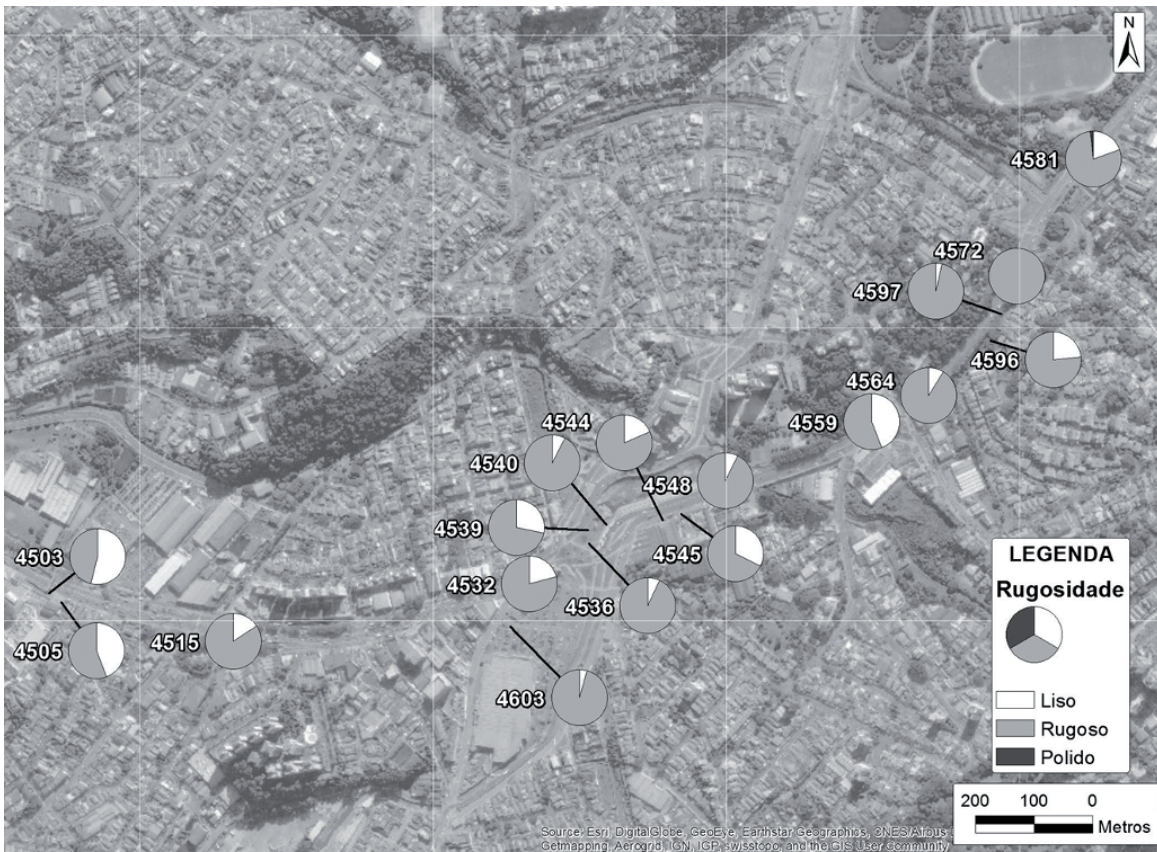


Figura 5. Variação do grau de rugosidade das descontinuidades ao longo do trecho.

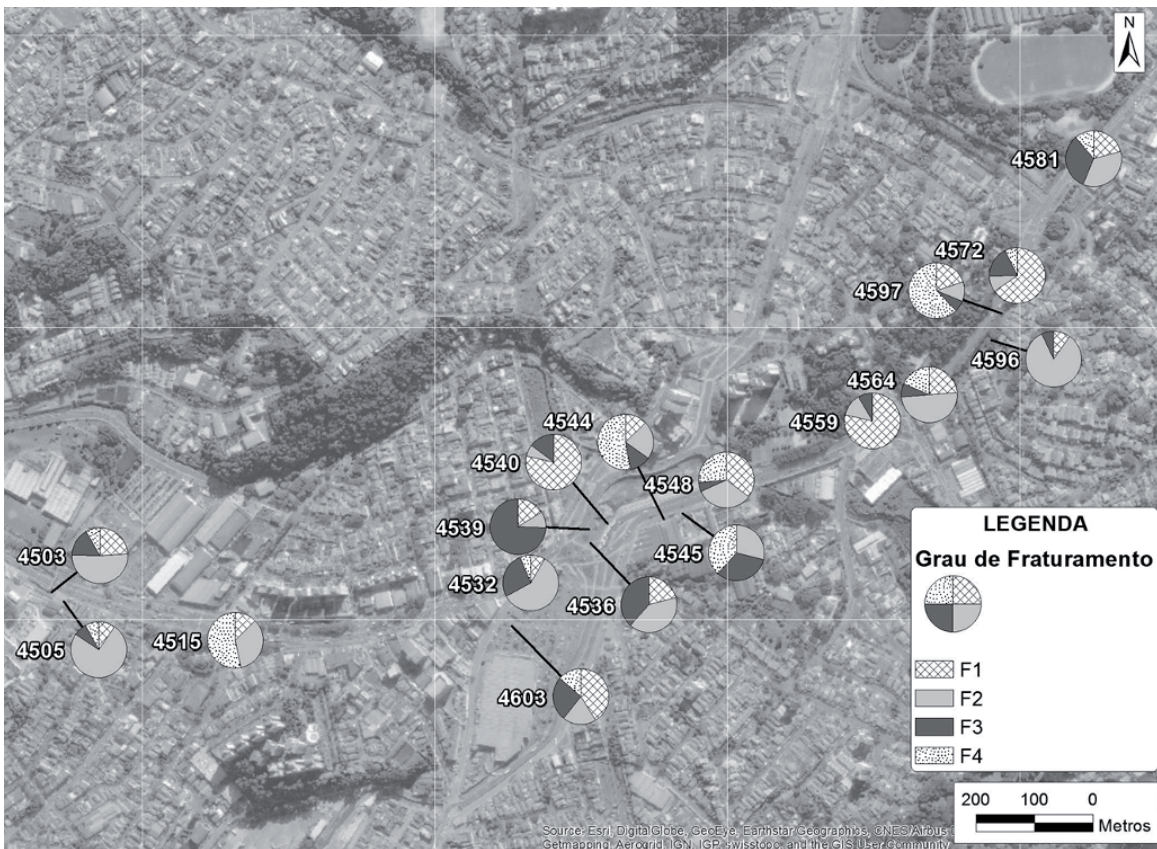


Figura 6. Variação do grau de fraturamento ao longo do trecho.

3.1 Análise da estabilidade do túnel e poços

Para a análise estrutural utilizaram-se os dados de orientação dos planos de descontinuidades obtidos no televisionamento óptico, considerando apenas as fraturas mais evidentes. O software Dips (Rocscience, 1999) foi empregado para a elaboração do diagrama Schmidt-Lambert, com a concentração dos polos dos planos. As principais famílias foram definidas e utilizadas para a análise cinemática bidimensional, de acordo com parâmetros definidos por Hoek & Bray (1981), bem como a análise tridimensional, definindo os principais blocos formados a partir da combinação de todos os conjuntos principais de descontinuidades, de acordo com a proposta de Goodman & Shi (1985), usando para isso o software Unwedge (Rocscience 2004). Inicialmente cada furo foi separadamente analisado, a fim de compreender o modelo estrutural da rocha e sua variação ao longo do trecho estudado. Depois, todos os furos foram analisados conjuntamente (Figura 7). O processo de análise estrutural é apresentado em detalhe em Oliveira (2015).

Para continuar com a análise estrutural e de estabilidade para o eixo do túnel, decidiu-se dividir

o trecho estudado em cinco setores, sendo que a principal mudança foi a direção do eixo em si. Depois de definir cada família estrutural principal por setor ao longo do trecho, o Software Unwedge foi então empregado para analisar a estabilidade do túnel, fornecendo informações valiosas e detalhadas sobre os blocos-chave que poderiam se formar. Foi desenvolvida tanto uma análise bidimensional (Figura 7) como uma análise tridimensional (Figura 8). No estudo, foi considerado para cada conjunto de fraturas apenas três famílias, devido às limitações do software. Na análise tridimensional foi apresentada a combinação dos blocos-chave com a direção do túnel para cada setor (Figura 8), bem como cada bloco apresentado isoladamente, indicando o seu fator de segurança, volume (m^3) e o peso do bloco (toneladas), conforme o exemplo da Figura 8.

A mesma análise foi feita para todos poços previstos ao longo do trecho e túneis de ligação. Foram considerados apenas os furos televisionados próximos de cada poço. Na Figura 9, observam-se os exemplos de análise tridimensional para um poço e um túnel de ligação, respectivamente, tendo os dados do televisionamento óptico como principal entrada de dados.

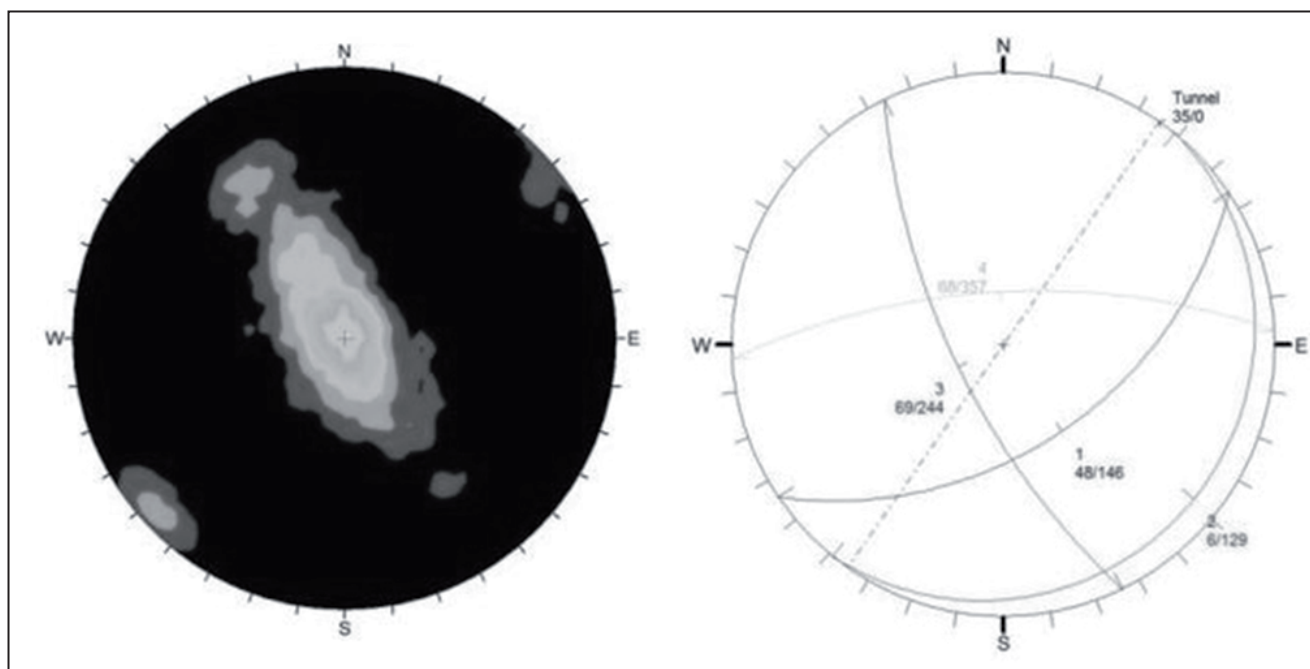


Figura 7. Diagrama de concentração de polos com os dados de OPTV (à esquerda) e análise bidimensional para um setor do trecho.

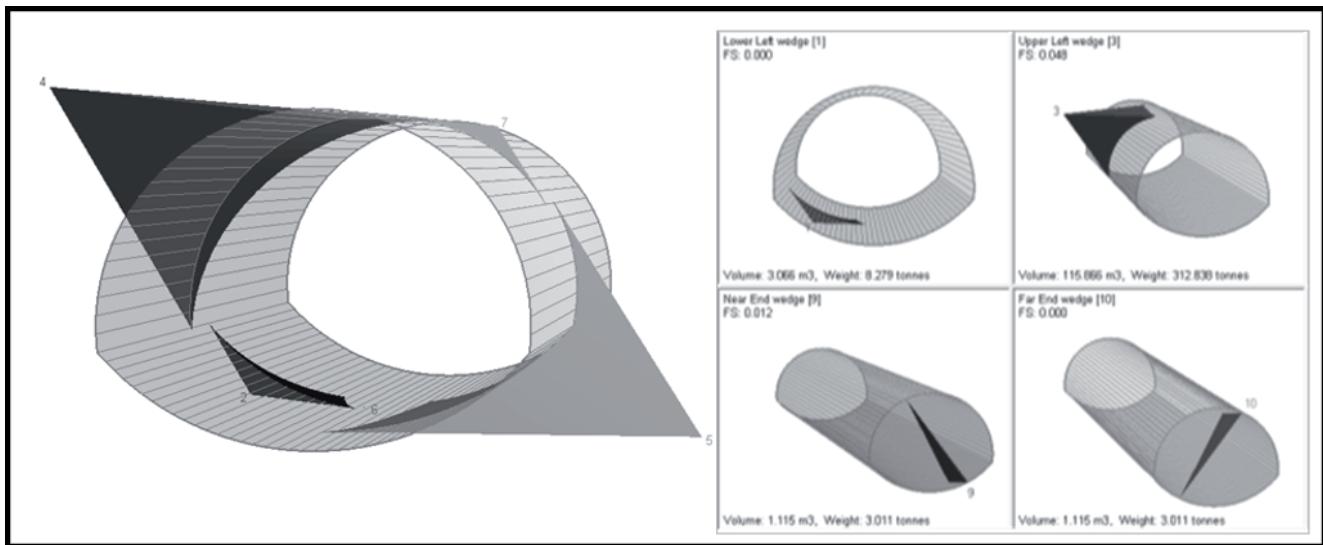


Figura 8. Análises tridimensionais com identificação de blocos formados e combinação de blocos-chave, com saída de informação de fator de segurança, volume e peso dos blocos.

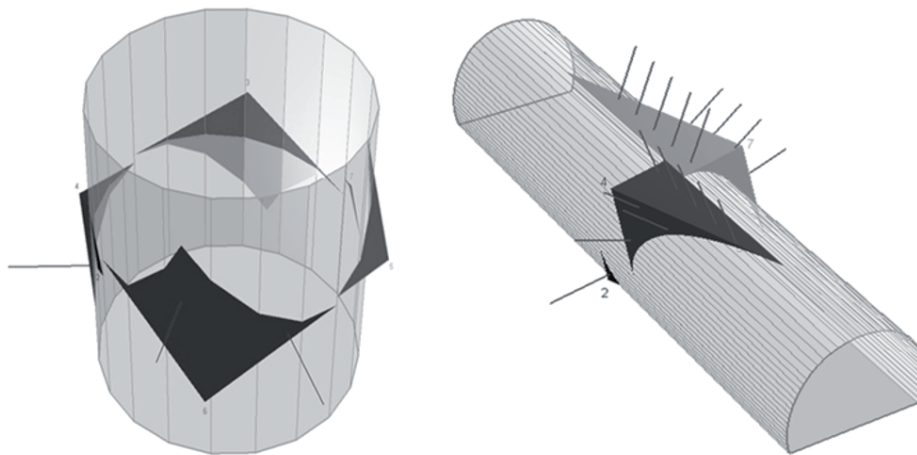


Figura 9. Análise tridimensional para avaliação de estabilidade de poço (à esquerda) e de túnel de ligação (à direita).

3.2 Análise de estabilidade das paredes de uma vala de Estação.

No projeto desenvolvido há o estudo de uma vala de Estação, que será escavada principalmente em rocha gnáissica. Estão previstas quatro paredes em sua vala principal (formato retangular), com aproximadamente 40 metros de altura, que serão escavadas em duas etapas. Todas as quatro paredes da vala foram analisadas considerando os dados do televisionamento das sondagens nesta área, tratando os dados estruturais em diagrama Schmidt-Lambert, conforme visto anteriormente para o túnel. Consideraram-se as possibilidades de ruptura plana e em cunha, além de tombamento,

para cada uma das paredes, como pode ser visto na Figura 10 para uma das paredes, por exemplo, considerando a análise de estabilidade de taludes de Hoek & Bray (1981). Para isso foram encontrados sete conjuntos de descontinuidades, que também foram confrontados com conhecimentos prévios sobre os dados estruturais da área.

Em seguida foi aplicada a Teoria dos Blocos-Chave (Goodman & Shi 1985), como ilustrada na Figura 11, para a mesma parede como exemplo. Então, conforme a teoria estabelece, dadas todas as possíveis combinações entre as descontinuidades principais, existem blocos críticos, chamados blocos-chave, que devem ser contidos, sendo que podem deslizar em espaço livre por conta da

gravidade, sem qualquer força externa, a menos que um sistema adequado de suporte seja fornecido. De acordo com o teorema dos blocos-chave, se este bloco crítico é contido, em seguida os outros blocos do maciço rochoso também estarão estáveis. Um bloco será considerado crítico se toda sua "pirâmide de juntas" (PJ - pirâmide de juntas da combinação de planos de juntas) cai inteiramente dentro da pirâmide de espaço (PS - pirâmide de espaço, espaço aberto após a escavação, oposta a PE - pirâmide de escavação, que seria a própria parede rochosa). Observam-se vários blocos-chave na parede da vala da Estação, considerando todos os sete conjuntos de descontinuidades. É importante mencionar que nem sempre todos esses conjuntos estarão presentes e a ausência de um ou mais moldariam blocos diferentes, o que também pode ser visto nesta figura, como a área sombreada.

As soluções de engenharia para a contenção desta vala levou em consideração a presença desses blocos, principalmente sugerindo que durante a implantação da estação esses blocos devem ser reconhecidos e estabilizados, conforme as instruções do A.T.O. (acompanhamento técnico de obra).

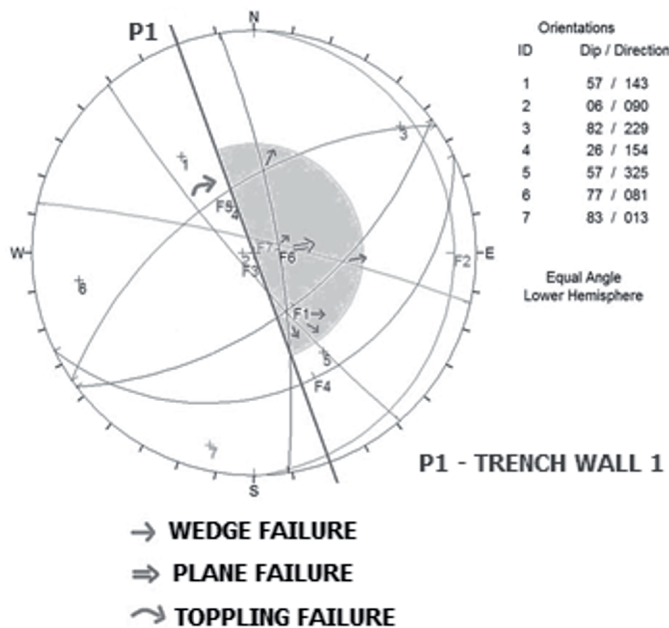


Figura 10. Análise de estabilidade usando o diagrama Schimidt-Lambert e considerando o modo de deslizamento para uma parede da vala.

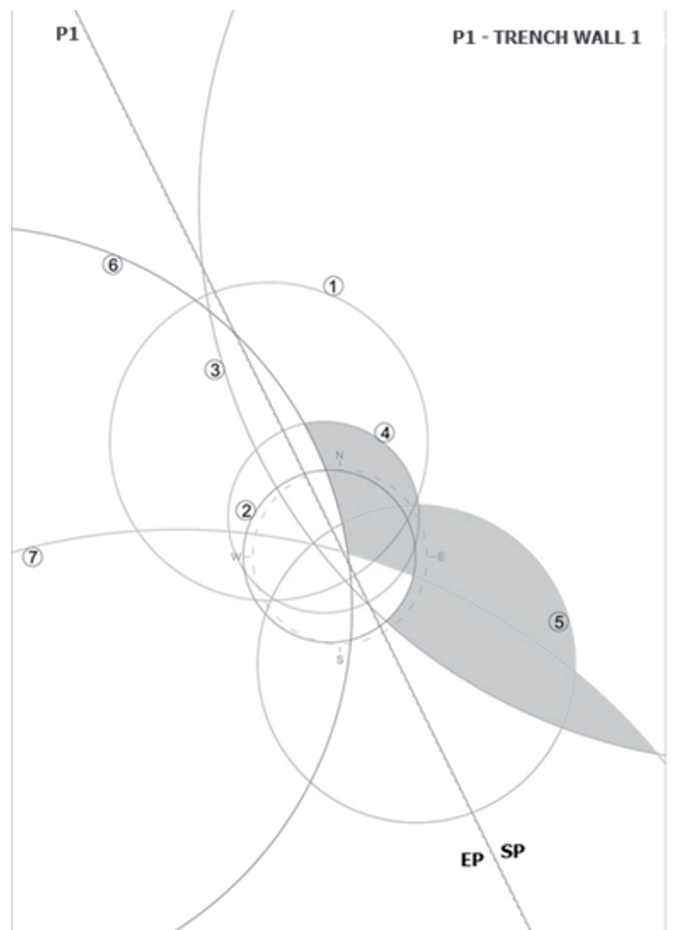


Figura 11. Análise de estabilidade usando a teoria dos blocos-chave e o diagrama tridimensional para o exemplo da mesma parede.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em obras subterrâneas urbanas o conhecimento do subsolo é essencial, uma vez que sua construção é uma atividade desenvolvida dentro de um contexto urbano, o que poderia causar interferência significativa no seu entorno. Somado a isso, há o fato de que um maciço pouco conhecido pode resultar em uma contenção superestimada, aumentando os custos da obra ou se subdimensionado, aumentando o seu risco.

Neste cenário, os dados do televisionamento óptico aumentam as possibilidades para a caracterização do subsolo, como mostrado neste trabalho. As aplicações aqui apresentadas poderão vir a ser utilizadas como possíveis alternativas para projetistas em análise estrutural, de estabilidade do túnel, poços e estações, assim como caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos em obras de infraestrutura, servindo

como complemento das informações obtidas em testemunhos de sondagens, levantamentos em afloramentos rochosos e demais investigações geológico-geotécnicas. Novamente, cita-se que um subsolo mais bem conhecido e compreendido implicará em uma diminuição das incertezas do comportamento do meio físico frente às obras a serem realizadas, diminuindo riscos e otimizando as soluções de engenharia.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Companhia do Metropolitano de São Paulo (METRÔ) por apoiar e autorizar a publicação deste estudo. Agradecimentos também à equipe técnica da EBEI-Empresa Brasileira de Engenharia de Infraestrutura, pelo apoio neste trabalho e ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABGE. 2013. Manual de sondagens. Boletim nº3, 5ª edição, São Paulo, 75p.
- Barton N. 1988. Predicting the behaviour of underground openings in rock. Manuel Rocha Memorial Lecture, Lisbon. NGI Publication 172, 1988. Also Geotecnia 53, July.
- Goodman R.E. & Shi G.H. 1985. Block theory and its application to rock engineering. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 338p.
- Hoek E. & Bray J.W. 1981. Rock slope engineering. 3. Ed. Rev. London: Institute of Mining and Metallurgy. 358 p.
- International Society for Rock Mechanics – ISRM. 1978. Suggested methods for the quantitative description of rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, vol. 15, n. 6, p. 319-368.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. 1984. Estudos geológico-geotécnicos para caracterização e classificação de maciços rochosos para projetos de engenharia (túneis, lavra a céu aberto e barragens). São Paulo. (IPT - Relatório, 10342).
- Oliveira D.G.G. 2015. Televisionamento óptico de sondagens - proposta metodológica para execução e suas aplicações em obras subterrâneas. Dissertação de mestrado, IGC-USP, São Paulo, 187p.
- Oliveira D.G.G., França D.D., Monteiro M.D., Massoni F., Taioli F., Lemos Filho M.X., Rocha H.C. 2013. Evolução da proposta metodológica para execução e análise de televisionamento de sondagens: A especificação técnica do Metrô de São Paulo. Anais do 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Rio de Janeiro.
- Priest S.D. & Hudson J.A. 1976. Discontinuity spacings in rock. International Journal Of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 13, p. 135-148.
- Rocscience Inc. 1999. DIPS Software. RocScience Inc. Toronto, Canada.
- Rocscience Inc. 2004. Unwedge© Software. RocScience Inc. Toronto, Canada.

DIRETRIZES PARA AUTORES

PREPARAÇÃO PARA SUBMISSÃO

Tipo e Tamanho de Arquivo: O texto do manuscrito deverá ser enviado em **arquivo Word (.doc)**, **em separado**, com os locais de inserção das figuras assinalados, seguido das respectivas legendas. As **ilustrações** deverão ser enviadas em **arquivo .tif**, também **em separado** (uma ilustração por arquivo). O mesmo procedimento deverá ser adotado para as **tabelas**, em arquivo. doc.

O artigo não poderá ultrapassar a **10.000** palavras ou **20 páginas**, incluindo título, autores, instituições e e-mail, resumo e palavras-chave, abstract e keywords, texto, figuras, tabelas, mapas, referências e legendas.

Nenhum **arquivo** poderá ultrapassar a **10Mb** de tamanho.

Forma de envio: O texto deverá ser enviado junto com as **ilustrações** (inclusive tabelas) no Sistema Eletrônico de submissão (ver passos práticos para envio de manuscritos na página da RBGEA, no ítem “Instruções para envio de artigos”).

ARTIGOS

Organização de artigos: deverá constar em sequência, o título, nome completo do(s) autor(es), instituição e e-mail (nome da instituição, cidade, estado, país e e-mail. Para alunos de mestrado ou doutorado, indicar “Programa de Pós-graduação”, instituição, e demais informações acima), resumo e palavras-chave, abstract e keywords, texto completo, referências, ilustrações e tabelas. O texto deve conter, preferencialmente: introdução, materiais e métodos, resultados, discussão, conclusões e agradecimentos.

Hierarquização dos títulos e subtítulos: Deve seguir o padrão:

Nível 1 - EM **NEGRITO**, TODAS AS LETRAS MAIÚSCULAS.

Nível 2 - Em **negrito**; a primeira letra da primeira palavra em maiúscula e as demais minúsculas.

Nível 3 - **ITÁLICO**, NÃO **NEGRITO**, TODAS AS LETRAS MAIÚSCULAS.

Nível 4 - **Itálico**, não **negrito**; a primeira letra da primeira palavra em maiúscula e as demais minúsculas.

Agradecimentos - **Negrito e itálico** (apenas o subtítulo). **Referências - Negritas e minúsculas** (apenas o subtítulo).

Manter um espaço simples entre itens e subtítulos do texto. Utilizar fonte Times New Roman, tamanho 11.

A indicação da inserção das ilustrações (figuras, tabelas, etc) no texto deverá ser em posição o mais próximo possível de sua primeira citação.

Formato do Resumo, Resúmen e o Abstract: Não poderão exceder 300 palavras cada, em parágrafo único, fonte Times New Roman, corpo 10, espaço simples (1,0) e serem seguidos de palavras-chaves, palabras claves e keywords (no mínimo 3 e máximo 5), respectivamente. Artigos em português, espanhol ou francês deverão ter o título vertido para o idioma inglês, em **MAIÚSCULO E ITÁLICO**, colocado após a palavra Abstract.

Formato do texto: Editar o texto em Word, fonte Times New Roman, corpo 11, espaço simples, papel A4, orientação em retrato e editado em apenas uma coluna. As margens deverão ter as seguintes medidas: superior: 2,0; inferior 2,0; esquerda 3,0 e direita 2,0. Digitar as tabelas em documentos word.

Abreviações: Devem ser evitadas ou mantidas ao mínimo. Se usadas, devem ser definidas na primeira vez que forem mencionadas e não devem ser utilizadas no título, resumo e abstract.

Ilustrações: A versão impressa da RBG publica ilustrações em preto e branco e tons de cinza. A versão “on line” publicações coloridas. As fontes usadas para textos sobre fotografias deve ser uma da família da Helvética.

As ilustrações gráficas, fotográficas e fotomicrográficas serão numeradas sequencialmente, na ordem de sua citação no texto e consideradas, mesmo pranchas, indiscriminadamente como Figuras. Deverão ser separadas do texto por uma linha. Não serão aceitos encartes. Fotografias de afloramentos deverão apresentar barra de escala e indicação do norte.

Letreiros e símbolos das ilustrações devem ter dimensões adequadas para permitir legibilidade. **As ilustrações** deverão ter **larguras** mínimas de **9** ou **18** centímetros (permitir diagramação em uma ou duas colunas). Explicar todos os símbolos. Escalas gráficas, se necessárias, devem ser colocadas dentro da área das ilustrações.

As **Tabelas** devem ser auto-explicativas, com as laterais abertas, concisas e numeradas seqüencialmente. Devem ser elaboradas em Times New Roman, corpo 9. As legendas das ilustrações deverão ser redigidas com a mesma fonte do texto e corpo.

Formato das Figuras: Só serão aceitas figuras .tif, devendo ter **resolução mínima de 300dpi**, com tamanhos largura de 8,7 cm ou de 17,7, com comprimento máximo de 21 cm.

Fórmulas e Equações: Numerar as fórmulas e equações seqüencialmente à direita, com números arábicos entre parênteses e, no texto, referir como “equação (1)”, etc.

Citações no corpo do texto: Deve-se seguir os formatos do seguinte exemplo: ...”Cunha (1985) interpreta a feição como uma estrutura de resfriamento magmático precoce, mas outros (Lima 1986, Fonseca **et al.** 1989, Ferreira & Araújo 1994) como uma feição tardia”.

Referências: Relatórios internos são serão aceitos nas referências, com exceção daqueles que são amplamente difundidos na comunidade científica e autorizados pelos consultores **ad hoc**. As referências deverão ser feitas em Times New Roman, corpo 10. Ao final do texto, ordenar as referências em ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor, empregando os seguintes formatos:

LIVROS:

Arndt N.T. & Nisbet E.G. (Eds.) 1982. **Komatiites**. George Allen & Unwin, London, 526 pp.

CAPÍTULOS DE LIVROS:

Pollack H.N. 1997. Thermal characteristics of the Archean. **In:** M. de Wit & L.D. Ashwal (eds.) **Greenstone belts**. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, 25, Oxford University Press, p.: 223-232.

ARTIGOS DE PERIÓDICOS:

Resende M.G. & Jost H. 1995. Petrogênese de formações ferríferas e metahidrotermalitos da Formação Aimbé, Grupo Guarinos (Arqueano), Goiás. **Rev. Bras. Geoc.**, 25:41-50.

Resende M.G., Jost H., Osborne G.A., Mol A. 1998. The stratigraphy of the Goiás and Faina greenstone belts, Central Brazil: a new proposal. **Rev. Bras. Geoc.**, 28:1-15.

Sabóia L. A. 1979. Os **greenstone belts** de Crixás e Goiás, Go. **In:** SBG, Núcleo Centro-Oeste, **Boletim Informativo**, 9:44-72.

ARTIGOS EM PUBLICAÇÕES SERIADAS:

Barbosa O., Braun O.P.G., Dyer R.C., Cunha C.A.B.R. 1970. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, Boletim 136, 140 p.

TESES E DISSERTAÇÕES:

Resende L. 1995. Estratigrafia, petrografia e geoquímica da seqüência sedimentar do greenstone Belt de Pilar de Goiás, GO. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 124 p.

ARTIGOS PUBLICADOS EM EVENTOS:

Tassinari C.C.G., Siga Jr. O, Teixeira W. 1981. Panorama geocronológico do centro-oeste brasileiro: solução, problemática e sugestões. **In:** SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, 1, **Atas**, p. 175.

ARTIGOS EM JORNAL:

Coutinho W.O. 1985. O Paço da cidade retorna ao seu brilho barroco. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 6 mar. Caderno B, p.6.

ARTIGOS AINDA NÃO PUBLICADOS:

Silva R.C. (em preparação). Tectônica na região do Alto Iguaçu-PR. Pereira E.W. (submetido). Evolução geológica da faixa de dobramentos Açungui. *Revista Brasileira de Geociências*. Silva R.C. (no prelo). Tectônica na região do Alto Iguaçu-PR. *Revista Brasileira de Geociências* (Aceito ainda sem data de publicação).

FOTOGRAFIAS AÉREAS:

IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO 1986. (São Paulo). Projeto Lins Tupã. Foto aérea. Escala 1:25.000, São Paulo, Fx28, n. 15.

FOLHAS E MAPAS IMPRESSOS:

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 1987. São José dos Campos (SP): atualização do uso da terra. SF-23-Y-D-II-1 MI-2769/1. São José dos Campos, Mapa Topográfico, escala 1:100.000. Silva A.J. 1999. Mapa geológico da Bacia de Campos. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1 mapa geológico, escala 1:50.000.

SÓCIOS PATROCINADORES DA ABGE

