



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

RBGEA

REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

Volume 10 (01)

2020

ISSN 2237-4590



**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. Dra. Alessandra Cristina Corsi – IPT
Prof. Dr. Eduardo Soares de Macedo – IPT
MSc. Erik Wunder – Estelar Engenheiros Associados

REVISORES

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

APOIO EDITORIAL

Denise Amaral e Didiana Dórea

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Rita Motta – Editora Tribo da Ilha

Volume 10 (01)

2020

ISSN 2237-4590



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

DIRETORIA ABGE GESTÃO 2019/2020

Presidente: Delfino Luiz Gouveia Gambetti
Vice Presidente: Fernando Facciolla Kertzman
Diretora Secretária: Marcela Penha Pereira Guimaraes
Diretor Financeiro: Silvia Maria Kitahara
Diretor de Eventos: Renivaldo T. Campos
Diretor de Comunicação: Maria Heloisa B. Oliveira Frasca

Conselho Deliberativo da ABGE: Claudio Luiz Ridente Gomes, Delfino Luiz Gouveia Gambetti, Fabio Augusto Gomes Vieira Reis, Fernando Facciolla Kertzman, Francisco Nogueira de Jorge, Iramir Barba Pacheco, Ivan Jose Delatim, Jacinto Costanzo Junior, Joao Paulo Monticelli, Julio Yasbek Reia, Marcela Penha Pereira Guimaraes, Marcelo Denser Monteiro, Maria Heloisa B. Oliveira Frasca, Otávio Coaracy Brasil Gandolfo, Paula Sayuri Tanabe Nishijima, Raquel Alfieri Galera, Renata Augusta Rocha N. de Oliveira, Renivaldo T. Campos, Ricardo Antonio Abrahão, Ricardo Vedovello e Silvia Maria Kitahara.

NÚCLEO RIO DE JANEIRO

Conselho Deliberativo: Marcela Tuler Castelo Branco, Marcelo de Queiroz Jorge, Marcio Fernandes Leão, Nelson Meirim Coutinho, Rafael Silva Ribeiro, Raquel Batista Medeiros da Fonseca, Thiago Dutra dos Santos e Victor Augusto Hilquias Silva Alves.

NÚCLEO MINAS GERAIS

Conselho Deliberativo: Alberto Ferreira do Amaral Junior, Angelo Almeida Zenobio, Ellen Delgado Fernandes, Fabio Soares Magalhães, Inácio de Carvalho, Luis de Almeida P. Bacellar, Maria Giovana Parizzi, Thiago Marques Baptista Teixeira e Yan Lucas de Oliveira P. dos Santos

NÚCLEO SUL

Conselho Deliberativo: Andrea Valli Nummer, Cezar Augusto Burkert Bastos, Débora Lamberty, Erik Wunder, Hermam Vargas Silva, Malva A. Mancuso e Murilo da Silva Espíndola.

NÚCLEO CENTRO OESTE

Conselho Deliberativo: Bruno Diniz de Mello Moreira, Gabriel do Nascimento Ribeiro, Getúlio Ezequiel da C. Peixoto Filho, Joao Luiz Armelin, Kurt João Albrecht, Patricia de Araujo Romão, Ricardo Moreira Vilhena e Rodrigo Luiz Gallo Fernandes.

NÚCLEO NORTE

Conselho Deliberativo: Claudio Fabian Szlafsztain, Dianne Danielle Farias Fonseca, Elton Rodrigo Andretta, Iris Celeste Nascimento Bandeira, Luciana de Jesus P. P. Miyagawa, Milena Marília Nogueira de Andrade e Sheila Gatinho Teixeira.

ABGE Central

Gerente Executiva: Luciana Marques
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Prédio 36 | Cidade Universitária | São Paulo – SP
Fones: (11) 3767-4361 | (11) 3719-0661
E-mail: abge@abge.org.br | Site: abge.org.br



APRESENTAÇÃO

Sejam bem vindos à edição 2020 da Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA).

Esta edição conta com 7 artigos técnico-científicos que desenvolvem assuntos da geologia aplicada à caracterização de áreas contaminadas, à geotecnia de mineração, à investigação e caracterização de maciços rochosos, à cartografia geotécnica e ao uso, planejamento e ocupação do meio físico.

Rondinelli e colaboradores apresentam os resultados de análises geoquímicas de solos superficiais para a elaboração do mapa de isolinhas de concentração de hexaclorociclohexano (HCH) em uma área localizada no município de Santo André, estado de São Paulo. Ramires e colaboradores mostram a capacidade de otimização e de planejamento dos elementos de suporte e sistemas de tratamento de galerias subterrâneas do complexo de mineração aurífera Serra Grande, estado de Goiás, através da integração de informações geotécnicas obtidas por diferentes técnicas de caracterização e classificação do maciço rochoso. No mesmo contexto minerário, Batista e colaboradores apresentam o efeito na diluição não planejada e consequentemente no aumento de produtividade do método de lavra *sublevel stoping* causado pela modificação do layout dos pilares de galerias subterrânea da Mineração Serra Grande, estado de Goiás. Libardi e colaboradores divulgam os resultados da aplicação prática da técnica da perfilagem geofísica de furos de sondagem na caracterização da compartimentação estrutural do maciço rochoso pertencente à região centro-norte do Quadrilátero Ferrífero. Freitas e Oliveira oferecem o conceito de ecologia da cidade para a composição do ecossistema urbano, da integração do

homem com o meio natural e para o planejamento do município de Rio Grande da Serra, estado de São Paulo. Vedovello e colaboradores trazem o método das Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) para obtenção de uma base integrada de informações do meio físico natural para análises voltadas à gestão ambiental e territorial de todo o estado de São Paulo. Por fim, Correa e Canil, apresentam uma discussão sobre o potencial da utilização de imagens de satélite gratuitas com fins de análise de risco de movimentos de massa associados a cicatrizes de deslizamentos, fluxos concentrados de águas, vegetação e padrões urbanos de ocupação.

Na seção Nossa História, retornamos ao Rio de Janeiro, no ano de 1976, quando foi realizado do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, evento que concretizou a abrangência nacional da então Associação Paulista de Geologia Aplicada, passando a se chamar Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Este congresso tem grande simbolismo pois foi também nosso primeiro evento a ter um encontro técnico específico sobre planejamento e ocupação do meio físico, com a promoção da Mesa Redonda 2 - Geociências e o uso racional do meio físico. Deste encontro resgatamos o trabalho do geólogo Fernando Luiz Prandini intitulado "O Brasil e a Geologia no Planejamento Territorial e Urbano" que nos apresenta o ambiente socioeconômico, geocientífico e geotécnico nacional no nascimento da Geologia de Planejamento no Brasil. A leitura deste inestimável trabalho histórico, junto aos artigos atuais também publicados nesta edição, promove uma interessante ilustração do caminho percorrido até aqui, na aplicação do conhecimento das geociências ao planejamento do uso e ocupação do território urbano.

Ainda em relação ao artigo de Prandini, Kátia Canil apresenta comentários sobre esse artigo à luz da evolução da geologia de engenharia e ambiental e acaba por concluir que apesar da evolução da contribuição dos estudos geológicos, ainda há um longo caminho a trilhar.

Na seção Contribuições e Reflexões, publicamos o texto “Os geólogos e a dimensão civilizatória de suas atividades”, onde o geólogo Álvaro Rodrigues dos Santos nos expõe sua visão da abrangência e da responsabilidade da atividade profissional do geólogo. Em um contexto semelhante, o geólogo Erik Wunder nos oferece uma reflexão sobre a Geologia e as formas característi-

cas de atuação dos profissionais que a desenvolvem enquanto geociências, e daqueles que fazem do seu uso uma prática para entender as influências das ações do homem sobre o meio geológico e as condicionantes do ambiente geológico sobre os empreendimentos humanos.

Participe de nossa revista enviando seu artigo técnico, seu texto de reflexão, seu comentário ou sua sugestão para que possamos juntos fazer da RBGEA a revista de divulgação e integração da Geologia de Engenharia e Ambiental no Brasil.

Desejamos a todos uma ótima leitura.



SUMÁRIO

- 4 APRESENTAÇÃO
- 8 ANÁLISE GEOQUÍMICA DE SOLOS SUPERFICIAIS DE UMA ÁREA CONTAMINADA COM HEXACLOROCICLOHEXANO (HCH)
Duilio Rondinelli
Alexandre Muselli Barbosa
Giulliana Mondelli
- 27 CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMA Q APLICADO A MAPEAMENTO DE DOMÍNIO GEOTÉCNICO-ESTRUTURAL
João Eduardo Fochi Ramires
Gustavo Antonio Pereira Batista
Jairo Henrique da Silva
Marcelo Pereira Campos
Joe Seery
- 36 DESCRIÇÃO QUANTITATIVA DE “TESTEMUNHOS VIRTUAIS” NA OBTENÇÃO DE UMA CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS LITOLOGIAS PRESENTES EM DEPÓSITOS DE FERRO
Douglas Marcel Quatiabara Sander Libardi
Paulo Salvadoretti
George Olufunmilayo Gasper
Oluwafemi Shekoni Ayodeji
Tiago de Almeida
João Felipe Coimbra Leite da Costa
Elias Kaspariy Pooter
- 55 ECOSSISTEMA URBANO E A GEOLOGIA DE ENGENHARIA
Carlos Geraldo Luz de Freitas
Thaiz Lima de Oliveira
- 63 MAXIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE PILARES NO MÉTODO DE LAVRA SUBLEVEL STOPING
Gustavo Antonio Pereira Batista
André Pacheco de Assis
Kobus Du Plooy
Jairo Henrique da Silva
João Eduardo Fochi Ramires

- 73 UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO (UBC) DO ESTADO DE SÃO PAULO E SEU USO PARA AVALIAÇÕES GEOAMBIENTAIS E PLANEJAMENTO TERRITORIAL
Ricardo Vedovello
Cláudio José Ferreira
Aline Salim
Juliana Amorim da Costa Matsuzaki
Kenzo Matsuzaki
Denise Rossini Penteado
Arlete Tieko Ohata

- 88 UTILIZAÇÃO DE IMAGENS GRATUITAS DE SENSORES REMOTOS PARA ANÁLISE DE RISCOS DE MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO CÓRREGO ALVARENGA, SÃO BERNARDO DO CAMPO, SÃO PAULO
Danielle Blazys Correa
Kátia Canil

NOSSA HISTÓRIA

- 111 O BRASIL E A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO TERRITORIAL E URBANO
Fernando Luiz Prandini

- 122 O BRASIL E A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO TERRITORIAL E URBANO: DA PERSPECTIVA DE FERNANDO LUIZ PRANDINI EM 1976 AO ANO 2020
Kátia Canil

CONTRIBUIÇÃO E REFLEXÃO

- 128 OS GEÓLOGOS E A DIMENSÃO CIVILIZATÓRIA DE SUAS ATIVIDADES PROFISSIONAIS
Álvaro Rodrigues dos Santos

- 129 SOMOS AQUILO QUE ESTUDAMOS
Erik Wunder

ANÁLISE GEOQUÍMICA DE SOLOS SUPERFICIAIS DE UMA ÁREA CONTAMINADA COM HEXACLOROCICLOHEXANO (HCH)

GEOCHEMICAL ANALYSIS OF SUPERFICIAL SOILS OF A CONTAMINATED SITE WITH HEXACHLOROCYCLOHEXANE (HCH)

DUILIO RONDINELLI

Consultor, São Paulo - SP, Brasil. rondinelliduilio@bol.com.br

ALEXANDRE MUSELLI BARBOSA

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo-SP, Brasil. muselli@ipt.br

GIULLIANA MONDELLI

Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, Brasil. g.mondelli@ufabc.edu.br

RESUMO ABSTRACT

O artigo apresenta a análise geoquímica associada ao tratamento estatístico dos dados de uma investigação dos solos superficiais de uma área contaminada por isômeros de hexaclorociclohexano (HCH). A área de estudo localiza-se em Santo André - SP, Brasil, e possui 7 células com cerca de 3 m de profundidade, construídas para armazenamento de resíduos contendo HCH. Ao todo, foram coletadas 94 amostras de solo superficial nos condomínios vizinhos à área das células e 83 amostras no entorno imediato das células. Uma análise estatística com base nas concentrações obtidas em replicata dos isômeros α , β , γ , e δ por meio de cromatografia gasosa foi realizada, determinando-se que os valores de *background* são aqueles correspondentes ao Percentil 50 e que as anomalias são correspondentes ao Percentil 95. Desta forma, foi possível obter os mapas de isolinhas de concentração para cada isômero e compará-los com os valores de intervenção disponibilizados pelas agências ambientais. De maneira geral, as áreas das anomalias acima do Percentil 95 superam as áreas das plumas de contaminação (considerando valor de intervenção para uso residencial), conforme esperado, indicando que a análise geoquímica é mais abrangente a favor da segurança. Observa-se também que existe uma tendência de as amostras consideradas anômalas e contaminadas se sobrepor nas mesmas

The paper presents the geochemical analysis employed using statistical survey of an investigation of superficial soils from a contaminated site by isomers of hexachlorocyclohexane (HCH). The study site is located in Santo Andre - SP, Brazil, and has 7 cells constructed 3 m deep for storage of waste containing HCH. In total, 94 samples were collected from topsoil in neighboring condominiums to the area of the cells and 83 samples were collected in the immediate surroundings of the cells. A statistical analysis based on the concentrations determined in replicate of the isomers α , β , γ and δ by gas chromatography was performed by determining the background values, which are those corresponding to the Percentile 50 and the anomaly are those corresponding to the Percentile 95. Thus, it was possible to obtain the contour maps of concentration for each isomer and compare them with the intervention values provided by the environmental agencies. In general, the anomaly areas detect above the Percentile 95 outweigh areas of contamination plumes (considering intervention values for residential use), as expected, indicating that the geochemical analysis is more embracing. It was observed that there is a tendency of the samples considered anomalous and contaminated appear in the same and / or similar sampling points for different isomers of

áreas e/ou pontos de amostragem, para os diferentes isômeros de HCH investigados, o que confirma a validade tanto do método estatístico empregado como da amostragem, conservação e análises empregadas. Conclui-se que este tipo de análise pode ser empregado em apoio à investigação em casos de contaminação de áreas complexas, que possuem diferentes tipos de poluentes, de fontes, solos, rochas, bacias hidrográficas, e sofreram muitas intervenções antrópicas ao longo do tempo.

Palavras-chave: Contaminação; Background; Anomalia; Pesticida; HCH.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, a questão da contaminação do solo, juntamente com a água subterrânea, tem sido alvo de grande preocupação em países industrializados. Atividades realizadas anteriormente com o objetivo de promover o desenvolvimento humano, criaram novos desafios ambientais. O crescimento do conhecimento de áreas contaminadas é um dos difíceis desafios a serem enfrentados pelas futuras gerações, para que possam reutilizar estas áreas de uma maneira saudável e segura.

O Hexaclorociclohexano (HCH) é um composto químico de origem industrial que ocorre em formas químicas chamadas de isômeros, não sendo encontrado naturalmente no ambiente. Foi descoberto em 1825 e utilizado na 1ª Guerra Mundial como gás tóxico para fins bélicos. Suas propriedades inseticidas foram descobertas em 1942 e, a partir de 1949 o HCH passou a ser largamente produzido como pesticida, sendo conhecido como HCH grau técnico (t-HCH), uma mistura de isômeros, sendo os principais: α -HCH (alfa), β -HCH (beta), δ -HCH (delta) e γ -HCH (gama), também chamado lindano. Além de pesticida, o HCH foi utilizado como droga para tratamentos tópicos contra ectoparasitas do ser humano e de animais, participando de campanhas de Saúde Pública no combate ao vetor da malária e dos triatomídeos vetores da doença de Chagas.

Em diversos países, o HCH deixou de ser produzido a partir do final da década de 1970 e parou de ser utilizado entre 1983 e 1985, devi-

HCH investigated, confirming the validity of both the statistical method employed, as for sampling, preservation and analysis employed. It was concluded that this type of analysis could be an additional tool of investigation in cases of contamination of complex sites, where are different types of polluting sources, soils, rocks, watersheds and have undergone many human intervention over time.

Keywords: Contamination; Background; Anomaly; Pesticide; HCH.

do às descobertas de danos a saúde. Em 1985 foi aprovada no Brasil a Portaria 329 (BRASIL 1985), que passou a fazer parte do artigo 143 do Regulamento aprovado pelo Decreto 24.114 de 1934, pelo Ministério da Agricultura (1985), de proibição da comercialização, uso e distribuição de pesticidas organoclorados, destinados à agropecuária. Portanto, o uso destes pesticidas ainda é permitido pelos órgãos públicos em situações de emergência na agricultura e em epidemias de insetos transmissores de doenças, assim como na preservação da madeira. O lindano, segundo a Resolução 165, de 29 de agosto de 2003, tem produção e uso permitido para a preservação da madeira com finalidade de registro no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA). Até o início do ano de 1986 a Indústria Matarazzo ainda produzia o BHC que era utilizado pelos órgãos públicos no combate a insetos transmissores de doenças infecciosas (CETESB 2005).

Os resíduos de HCH remanescentes necessitam de disposição adequada, pois a contaminação por HCH continua sendo um problema global, já que estes compostos têm moderada volatilidade e podem ser transportados a partir do solo superficial ou partículas de poeira de solo superficial contendo HCH adsorvido, por via aérea (erosão pelo vento) para locais remotos.

O objetivo do presente trabalho é analisar geoquimicamente os resultados de uma investigação do solo superficial de uma área contaminada que possui valas construídas para a contenção de resíduos contendo HCH. O desconhecimento da origem dos solos que compõem a camada de

cobertura destas valas (se transportados ou residuais) dificulta uma análise puramente ambiental, sendo necessários dados adicionais para se definir as anomalias e os valores de *background*.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo tem cerca de 73.000 m² e está situada no Município de Santo André - SP

(Figura 1). No ano de 1987 foi utilizada como área de disposição de material (solo contaminado dragado) oriundo da retificação do córrego dos Meninos, município de São Caetano do Sul-SP, que passava atrás de uma unidade fabril, das Indústrias Químicas Matarazzo S. A., produtora de HCH grau técnico.

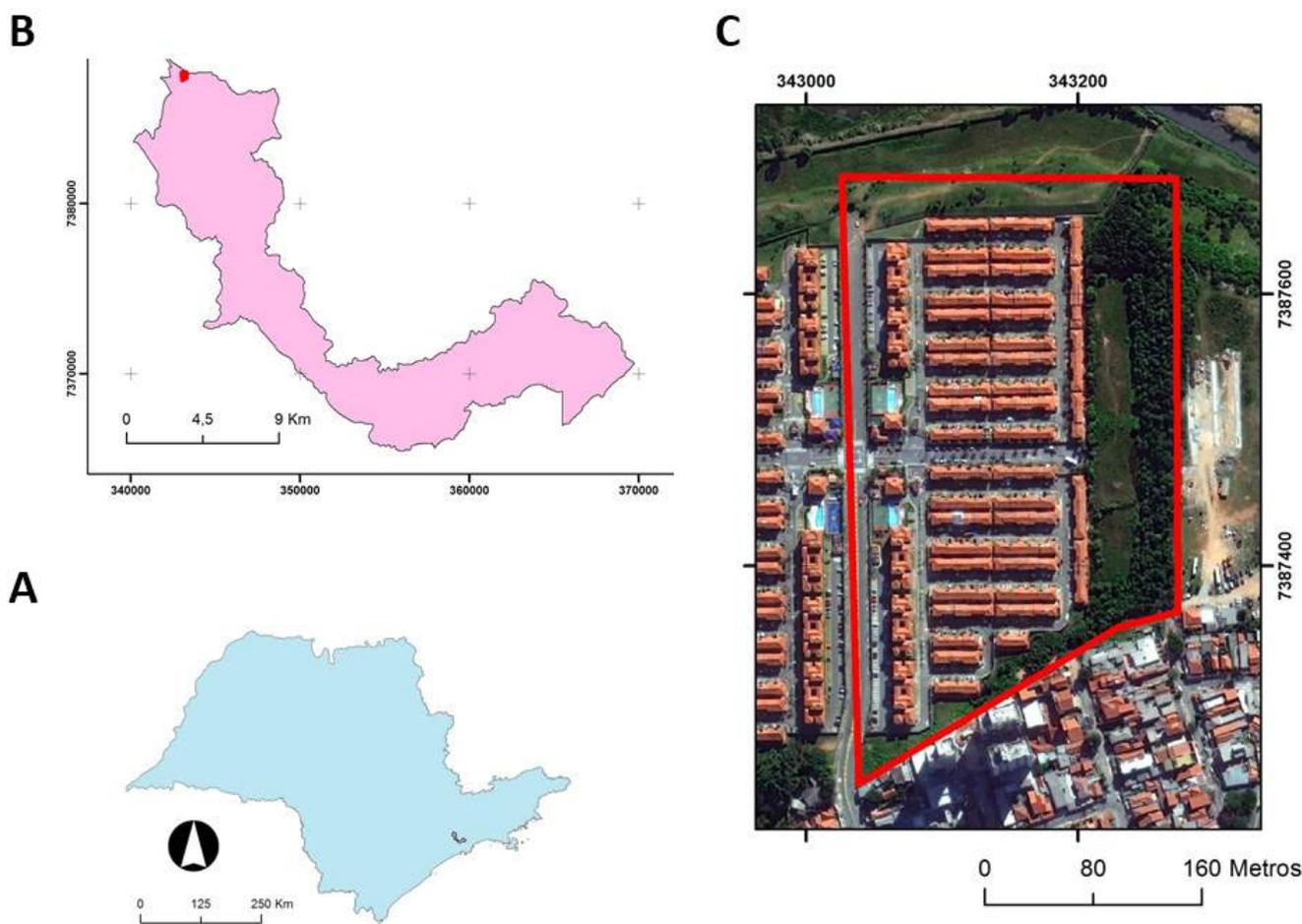


Figura 1. Localização da área de estudo no município de Santo André, Estado de São Paulo.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), na época, exigiu medidas para que o material fosse contido em valas preparadas para não contaminar o solo e o lençol freático locais. As medidas sugeridas foram adotadas, através da construção de sete células para armazenamento de 30.000 m³ de resíduos contendo HCH, ocupando uma área de cerca de 10.500 m².

Estas células consistiram em escavações no terreno natural, de cerca de 3 m de profundidade, com o fundo preenchido por brita 3 ou 4 e 0,2 m de areia. Sobre essa camada, de brita e areia, foi colocado um geotêxtil não-tecido, coberto por uma geomembrana de PVC (Cloreto de Polivinila) de 0,8 mm, que se estendia até as bordas da célula. Essa geomembrana de PVC foi coberta com

0,30 a 0,50 m de argila compactada. O resíduo foi então depositado e coberto por outra geomembrana de PVC e mais uma camada de argila com 0,20 a 0,40 m de espessura. Em meados de 1988, verificou-se a necessidade de construir mais duas valas de contenção dos resíduos, pois as 5 construídas já estavam cheias e ainda existia material a ser disposto.

A investigação geoambiental na área teve início no ano de 2000, pelo IPT, pela suspeita de possível degradação das células de contenção de resíduos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Plano de amostragem

As amostras de solo superficial, tanto no entorno imediato das células (solos de entorno – SE) como nos condomínios vizinhos à área das células (solos dos condomínios – SC), foram coletadas a 30 cm de profundidade, por meio de trado manual (Figura 2), numa quantidade de aproximadamente de 1 kg quando seco e 2 kg quando úmido. No entorno das células, a malha de amostragem planejada foi de 25x25m, enquanto nos condomínios a malha planejada foi do tipo “zig-zag” e sempre nos locais mais favoráveis, ou seja, subjacentes aos gramados das casas, conforme apresentado na Figura 3. Desta forma, foram coletadas 94 amostras nos condomínios e 83 amostras no entorno.

Todas as amostras assim coletadas foram homogêneas no campo, por meio de quarteramento e peneiramento na malha 4, de 4,76 mm de abertura (Figura 4), quando o material estava seco. No caso de material úmido, que dificilmente sofrem peneiramento, o referido material foi

enviado em sua forma bruta para o Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas (LRAC) do IPT, numa quantidade de 2 kg. Tanto o material úmido ou seco foi acondicionado em sacos plásticos e refrigerados a 4 °C e transportados para o LRAC. Para evitar a contaminação cruzada de uma estação de amostragem para outra, os trados foram lavados, utilizando as soluções na seguinte ordem: detergente não fosfatado, água potável, água deionizada, ácido clorídrico a 5%, novamente água deionizada, acetona e hexano, secando-se o equipamento posteriormente (Figura 5).



Figura 2. Amostra de solo superficial sendo coletada com trado manual.



Figura 3. Mapa de localização da malha de amostragem de solo superficial.



Figura 4. Peneiramento do solo em campo.



Figura 5. Descontaminação sendo executada de ponto para ponto de amostragem.

No LRAC, as amostras foram secadas em estufa a 40 °C, peneiradas na malha 100 (2 mm de abertura), acondicionadas em vidro incolor com volume de 100 cm³ revestido por papel alumínio, conservadas em câmara refrigeradora a 4° C, depois enviadas ao Laboratório de Análises Químicas (LAQ) do IPT com suas respectivas cadeias de custódia. No LAQ, as amostras foram moídas na malha 200 (0,075 mm de abertura) e submetidas a análise química por meio de Cromatografia Gasosa para os isômeros α -HCH, β -HCH, γ -HCH e δ -HCH conforme os métodos recomendados pela *United States Environment Protection Agency* (USEPA 1996a, 1996b, 1996c, 1996d, 1996e, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d).

3.2 Análise estatística

Os equipamentos de quantificações analíticas atuais foram fortes aliados para o desenvolvimento dessa pesquisa, porém é importante lembrar que os conceitos do passado tanto de geoquímica como da estatística permanecem em sua totalidade. Por isso, por mais que já sejam conhecidos pela maioria, vale resgatar os conceitos essenciais para a determinação das amostras anômalas e os *backgrounds*, dada a multidisciplinariedade do tema e do estudo realizado.

3.2.1 Médias

As médias mais utilizadas em geoquímica são as médias aritmética e geométrica. Por definição, a média aritmética de um parâmetro geoquímico de n amostras será o valor da somatória de todos os valores das n amostras dividido pelo número n :

$$MA = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)}{n}; \text{ onde } x_i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Por definição, a média geométrica de um parâmetro geoquímico será a raiz enésima do produto dos n números:

$$MG = \sqrt[n]{(1 \times 2 \times 3 \dots)} = (x_1 \times x_2 \dots x_n)^{1/n} \quad (2)$$

A média geométrica é geralmente menor que a média aritmética. Como exemplo prático, três

amostras analisadas para cobre, por *Induced Coupled Plasma* (ICP) na fração menor que a malha 80 (abertura de 0,177 mm), após abertura com água régia, apresentaram os seguintes resultados: 10, 100 e 1000 mg/kg. Desta forma, pelos conceitos acima, a média aritmética terá como soma dos valores apresentados o valor 1110 mg/kg, que dividido por 3, resulta no valor aproximado de 370 mg/kg. Quanto a média geométrica ela será igual a raiz cúbica do número 1000000 resultante do produto de 10 x 100 x 1000 que resulta 100 mg/kg, ou também de outro modo ela será o antilogaritmo na base 10, da média dos logaritmos dos n números ou seja $1+2+3 = 6/3 = 2$, cujo antilogaritmo na base 10 é 100 mg/kg.

3.2.2 Mediana

A mediana no exemplo acima de 10, 100, 1000 mg/kg, com n ímpar, seria o valor central dos valores do parâmetro ordenados do menor para o maior e portanto, o valor do meio da série ou seja 100 mg/kg. No caso em que n é par, no exemplo 2, 4, 5, 7, 10 e 12, a mediana seria a média dos valores entre 5 e 7 mg/kg e portanto $5 + 7 = 12/2$ mg/kg ou seja 6 mg/kg. Quando a curva de distribuição é normal, as médias aritmética, geométrica, mediana e moda são coincidentes.

3.2.3 Moda

A moda será o valor com maior frequência na série de dados, podendo ser unimodal ou pluri-modal. Desta forma, na série 4, 6, 6, 8 e 10 mg/kg, a moda seria 6 mg/kg. Na série 2, 4, 6, 6, 7, 8, 8, 10, 15 mg/kg, tem-se estão duas modas, respectivamente, 6 e 8 mg/kg.

3.2.4 Curva ou distribuição de frequência

É a curva que se obtém unindo-se pontos localizados no ponto médio do lado superior do retângulo no histograma. Esta curva pode ser normal (em forma de sino) ou deslocada em direção aos valores mais baixos ou em direção aos valores mais altos.

Histogramas de frequência acumulada são histogramas justapostos e acumulado de histogramas de frequência da menor frequência até a maior.

3.2.5 Quartis, Decis e Percentis

Considerando uma ogiva acumulada de 0 a 100 em porcentagem e dividindo-a em 4, 10 e 100 partes, respectivamente, têm-se os números correspondentes a 25%, 10% e 1%, denominados, respectivamente, quartis, decis e percentis.

Os quartis são denominados respectivamente de: primeiro quartil (Q1), segundo quartil (Q2) e terceiro quartil (Q3), respectivamente, sendo que o segundo quartil corresponde à mediana.

3.2.6 Variância Amostral VA^2 ou S^2

É uma medida da variabilidade ou dispersão de uma amostra, sendo oriunda da soma ao quadrado da diferença entre cada observação e a média aritmética (MA) das observações, dividida pelo número de amostra, n , menos 1:

$$VA^2 = S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - MA)^2}{n-1} \quad (3)$$

3.2.7 Desvio Padrão (DP)

É uma medida da dispersão das observações em torno da média aritmética e corresponde à raiz quadrada positiva da variância amostral. Como não se pode extrair uma raiz quadrada negativa no campo dos números reais, uma saída matemática para a questão é se elevar ao quadrado as diferenças entre cada valor da série de dados e da média.

$$DP = S = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - MA)}{n-1} \quad (4)$$

3.2.8 Erro Padrao da Média (EPM)

Resulta da divisão do desvio padrão da amostra pela raiz quadrada do número de amostras:

$$EPM = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

3.2.9 Assimetria (A)

É a medida do grau de simetria da distribuição. Um valor positivo no grau de simetria indica que a distribuição apresenta tendência

para ser alongada à direita, enquanto valores negativos indicam alongamentos à esquerda. Pode ser calculada de três maneiras, como segue:

$$A = \frac{Média - Moda}{Desvio Padrão} = \frac{3(Média - mediana)}{Desvio Padrão} = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - Média)^3}{nS^3} \quad (8)$$

3.2.10 Curtose (C)

É uma medida da forma da distribuição e corresponde ao grau de seu achatamento, comparado ao achatamento padrão da distribuição normal, que é do tipo mesocúrtica. Desta forma, uma curva mais achatada que o achatamento da normal é definida como platicúrtica, enquanto um achatamento menor a norma é conhecida como leptocúrtica. Esta consideração só é importante em termos práticos se a distribuição for pelo menos aproximadamente simétrica.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - Média)^4}{nS^4} \quad (9)$$

3.2.11 Coeficiente de Variação (CV)

Também chamado de desvio relativo, é a medida da dispersão relativa definida pela divisão do desvio padrão pela média e multiplicado por 100% para se ter uma medida em porcentagem. Tem a vantagem de comparar dados de geoquímica de duas variáveis expressos em unidades diferentes, por ser adimensional.

$$CV\% = \frac{Desvio Padrão}{Média} \times 100\% \quad (10)$$

3.2.12 Amplitude

É a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo de uma serie de dados.

3.3 Construção de mapas de isolinhas de concentração

A partir da análise estatística dos resultados analíticos sobre as concentrações de α -HCH, β -HCH, γ -HCH e δ -HCH dos solos superficiais da área, mapas foram gerados usando o software

ArcGIS 10, através da ferramenta *Spatial Analysis* utilizando o método geostatístico *Topo to Raster* para interpolação dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises químicas

A partir dos dados das análises químicas obtidas para os isômeros de HCH, tomados de duas

leituras efetuadas pelo cromatógrafo (replicadas denominadas A e B), foram calculadas as médias aritméticas, e retiradas as amostras que se apresentaram com valores menores que o limite de quantificação (LQ) em pelo menos um valor do par A e/ou B. As Tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam as médias para cada isômero, assim como os valores de referência utilizados.

Tabela 1. Médias aritméticas das replicatas A e B de α -HCH, em mg/kg.

Solos dos condomínios (SC) e suas respectivas médias						Solos do entorno (SE) e suas respectivas médias					
SC 01	0,0021	SC 32	0,002155	SC 63	0,0028	SE 02	0,025	SE 29	0,0315	SE 54	0,0095
SC 03	0,00235	SC 33	0,003965	SC 64	0,00345	SE 03	0,005	SE 30	0,00755	SE 55	0,0145
SC 04	0,00125	SC 34	0,00489	SC 65	0,0126	SE 04	0,0115	SE 32	0,0055	SE 56	1,345
SC 05	0,01083	SC 35	0,001165	SC 66	0,0039	SE 05	0,1085	SE 33	0,00405	SE 57	0,0145
SC 06	0,0028	SC 36	0,002575	SC 68	0,00425	SE 06	0,028	SE 34	0,00665	SE 58	0,003
SC 07	0,0022	SC 37	0,00205	SC 69	0,00205	SE 07	0,006	SE 35	0,00475	SE 59	0,004
SC 08	0,00195	SC 38	0,0019	SC 70	0,0031	SE 08	0,0125	SE 36	0,0019	SE 60	0,01
SC 09	0,00315	SC 39	0,00235	SC 72	0,00455	SE 09	0,0025	SE 37	0,0365	SE 62	0,00337
SC 10	0,004	SC 40	0,00295	SC 73	0,00135	SE 10	0,014	SE 38	0,0305	SE 63	0,0055
SC 12	0,00352	SC 42	0,000865	SC 74	0,0027	SE 12	0,01505	SE 39	0,0079	SE 64	0,00375
SC 13	0,000565	SC 43	0,00245	SC 75	0,00205	SE 13	0,00565	SE 40	0,057	SE 66	0,006345
SC 14	0,0006	SC 44	0,002185	SC 76	0,00485	SE 14	0,0235	SE 42	0,0965	SE 67	0,0044
SC 15	0,0007	SC 45	0,0022	SC 77	0,00475	SE 15	0,0044	SE 43	0,00565	SE 68	0,0049
SC 16	0,00455	SC 46	0,0016	SC 78	0,00532	SE 17	0,0038	SE 44	0,0038	SE 69	0,0039
SC 17	0,0011	SC 47	0,001465	SC 79	0,00552	SE 18	0,0055	SE 45	0,0865	SE 70	0,00335
SC 18	0,0009	SC 48	0,00175	SC 80	0,00498	SE 20	0,0025	SE 46	0,024	SE 76	0,09
SC 19	0,0013	SC 50	0,0045	SC 82	0,00225	SE 22	0,008	SE 47	0,00995	SE 77	0,0135
SC 20	0,00095	SC 52	0,00175	SC 83	0,00427	SE 23	0,01	SE 48	0,004	SE 78	0,009
SC 22	0,0006	SC 53	0,00255	SC 84	0,00703	SE 25	0,00655	SE 49	0,0175	SE 79	0,068
SC 23	0,00364	SC 54	0,0028	SC 85	0,00616	SE 26	0,0205	SE 50	0,033	SE 80	0,0195
SC 24	0,0021	SC 55	0,00472	SC 86	0,0095	SE 27	0,00935	SE 52	0,00385	SE 82	0,0155
SC 25	0,00125	SC 56	0,0051	SC 87	0,0134	SE 28	0,01035	SE 53	0,048	SE 83	0,0265
SC 26	0,00205	SC 57	0,0036	SC 88	0,0011						
SC 27	0,0047	SC 58	0,0015	SC 89	0,00382						
SC 28	0,0008	SC 59	0,00075	SC 90	0,00227						
SC 29	0,00303	SC 60	0,00175	SC 92	0,00191						
SC 30	0,0026	SC 62	0,00265	SC 94	0,01047						

Tabela 2. Médias aritméticas das replicatas A e B de β -HCH, em mg/kg.

Solos dos condomínios (SC) e suas respectivas médias						Solos do entorno (SE) e suas respectivas médias					
SC 01	0,00035	SC 35	0,00039	SC 70	0,00155	SE 02	0,0115	SE 32	0,00195	SE 55	0,006
SC 03	0,00021	SC 38	0,00135	SC 72	0,00115	SE 03	0,0015	SE 33	0,00205	SE 56	0,485
SC 04	0,000635	SC 39	0,0017	SC 73	0,0006	SE 04	0,0015	SE 34	0,035	SE 57	0,0075
SC 05	0,00049	SC 42	0,0002	SC 74	0,00165	SE 05	0,0205	SE 35	0,0079	SE 58	0,001
SC 06	0,00115	SC 43	0,00033	SC 75	0,00085	SE 06	0,0045	SE 36	0,00055	SE 59	0,001
SC 07	0,0005	SC 44	0,00045	SC 76	0,00145	SE 07	0,0012	SE 37	0,007	SE 60	0,005
SC 08	0,0024	SC 45	0,00145	SC 77	0,000955	SE 08	0,0117	SE 38	0,1225	SE 62	0,0027
SC 09	0,000265	SC 46	0,0017	SC 78	0,001045	SE 10	0,016	SE 39	0,00675	SE 63	0,0075
SC 10	0,000565	SC 48	0,00195	SC 79	0,00145	SE 12	0,0116	SE 40	0,0105	SE 64	0,00235
SC 13	0,00147	SC 50	0,00109	SC 80	0,001765	SE 14	0,008	SE 42	0,02	SE 66	0,00395
SC 14	0,00169	SC 54	0,00315	SC 82	0,000745	SE 17	0,0009	SE 44	0,0037	SE 68	0,00505
SC 25	0,00018	SC 55	0,00018	SC 83	0,00176	SE 18	0,004	SE 45	0,0145	SE 69	0,002095
SC 26	0,00175	SC 56	0,0038	SC 84	0,00315	SE 20	0,002	SE 46	0,0085	SE 70	0,0038
SC 27	0,00105	SC 58	0,001	SC 85	0,00215	SE 22	0,003	SE 47	0,02535	SE 76	0,012
SC 28	0,00018	SC 60	0,0026	SC 86	0,0062	SE 23	0,0005	SE 48	0,0055	SE 77	0,002
SC 29	0,001155	SC 62	0,0047	SC 87	0,0027	SE 26	0,0117	SE 49	0,0085	SE 78	0,0025
SC 30	0,001135	SC 64	0,00465	SC 88	0,0026	SE 27	0,0022	SE 50	0,158	SE 79	0,01
SC 32	0,001805	SC 65	0,0064	SC 89	0,001235	SE 28	0,0025	SE 52	0,0012	SE 80	0,004
SC 33	0,000755	SC 66	0,00145	SC 90	0,002535	SE 29	0,0125	SE 53	0,0085	SE 82	0,0045
SC 34	0,00088	SC 68	0,0019	SC 94	0,003925	SE 30	0,022	SE 54	0,009	SE 83	0,007

Tabela 3. Médias aritméticas das replicatas A e B de γ -HCH, em mg/kg.

Solos dos condomínios (SC) e suas respectivas médias						Solos do entorno (SE) e suas respectivas médias					
SC 01	0,000855	SC 42	0,002	SC 69	0,00044	SE 02	0,0085	SE 30	0,0021	SE 55	0,0055
SC 03	0,0009	SC 43	0,0021	SC 70	0,0012	SE 03	0,0015	SE 32	0,000825	SE 56	0,065
SC 05	0,00101	SC 44	0,00205	SC 72	0,00125	SE 04	0,003	SE 33	0,002	SE 57	0,0025
SC 06	0,0019	SC 45	0,00255	SC 73	0,0014	SE 05	0,029	SE 34	0,00835	SE 58	0,00035
SC 07	0,00055	SC 46	0,00165	SC 74	0,00195	SE 06	0,0065	SE 35	0,0009	SE 59	0,0004
SC 08	0,0013	SC 48	0,00085	SC 75	0,00065	SE 07	0,003	SE 36	0,000665	SE 60	0,004
SC 23	0,004105	SC 49	0,000195	SC 76	0,0013	SE 08	0,018	SE 37	0,0085	SE 62	0,0012
SC 24	0,00081	SC 50	0,00215	SC 77	0,001935	SE 10	0,004	SE 38	0,013	SE 63	0,0025
SC 26	0,002	SC 52	0,0017	SC 78	0,001955	SE 12	0,004	SE 39	0,00315	SE 64	0,0011
SC 27	0,00295	SC 53	0,000255	SC 79	0,002195	SE 13	0,0013	SE 40	0,013	SE 66	0,00615
SC 28	0,0013	SC 54	0,0017	SC 80	0,00225	SE 14	0,007	SE 42	0,0235	SE 67	0,00035
SC 29	0,00368	SC 55	0,00033	SC 82	0,00122	SE 15	0,0007	SE 43	0,0013	SE 68	0,00116
SC 30	0,0028	SC 56	0,0023	SC 83	0,00242	SE 17	0,0006	SE 44	0,0015	SE 69	0,0018
SC 32	0,003475	SC 57	0,000765	SC 84	0,00252	SE 18	0,001	SE 45	0,016	SE 70	0,00131
SC 33	0,00237	SC 58	0,00145	SC 85	0,00305	SE 20	0,002	SE 46	0,0055	SE 76	0,018
SC 34	0,002145	SC 60	0,00085	SC 86	0,0036	SE 22	0,0025	SE 47	0,0043	SE 77	0,0035
SC 35	0,00023	SC 62	0,0014	SC 87	0,0048	SE 23	0,0022	SE 48	0,0025	SE 78	0,0015
SC 36	0,00254	SC 63	0,00054	SC 88	0,00115	SE 25	0,0012	SE 49	0,005	SE 79	0,013
SC 37	0,00275	SC 64	0,0026	SC 89	0,00236	SE 26	0,0065	SE 50	0,0135	SE 80	0,004
SC 38	0,0018	SC 65	0,00405	SC 90	0,002055	SE 27	0,0029	SE 52	0,00105	SE 82	0,003
SC 39	0,00135	SC 66	0,0021	SC 92	0,003165	SE 28	0,0039	SE 53	0,0075	SE 83	0,006
SC 40	0,00245	SC 68	0,0016	SC 94	0,005295	SE 29	0,0068	SE 54	0,0035		

Tabela 4. Médias aritméticas das replicatas A e B de δ -HCH, em mg/kg.

Solos dos condomínios (SC) e suas respectivas médias						Solos do entorno (SE) e suas respectivas médias					
SC 03	0,0008	SC 42	0,0023	SC 65	0,00018	SE 02	0,00065	SE 29	0,00955	SE 54	0,0025
SC 05	0,0006	SC 43	0,00087	SC 66	0,00018	SE 04	0,001	SE 30	0,0342	SE 55	0,001
SC 08	0,00018	SC 44	0,00018	SC 68	0,00018	SE 05	0,01375	SE 32	0,01043	SE 56	0,025
SC 23	0,00525	SC 45	0,00415	SC 70	0,00018	SE 06	0,004	SE 33	0,0075	SE 57	0,013
SC 25	0,0015	SC 46	0,00018	SC 72	0,00018	SE 08	0,002	SE 34	0,0165	SE 58	0,0105
SC 27	0,00203	SC 47	0,00056	SC 73	0,00018	SE 10	0,0095	SE 37	0,00018	SE 59	0,014
SC 28	0,00018	SC 48	0,00018	SC 74	0,00018	SE 12	0,00018	SE 38	0,035	SE 60	0,0125
SC 29	0,0036	SC 50	0,00018	SC 75	0,00018	SE 13	0,0007	SE 39	0,0014	SE 62	0,00801
SC 30	0,0074	SC 52	0,00018	SC 76	0,00018	SE 14	0,0105	SE 42	0,0105	SE 64	0,00762
SC 32	0,00765	SC 53	0,00035	SC 77	0,00792	SE 15	0,00088	SE 43	0,0007	SE 66	0,007345
SC 33	0,0015	SC 54	0,00018	SC 79	0,00952	SE 17	0,00092	SE 44	0,00018	SE 68	0,011635
SC 34	0,00055	SC 56	0,00018	SC 85	0,00707	SE 18	0,052	SE 45	0,006	SE 70	0,00935
SC 35	0,002155	SC 57	0,00053	SC 88	0,00018	SE 20	0,01	SE 46	0,0026	SE 76	0,00035
SC 36	0,00475	SC 58	0,00018	SC 89	0,0067	SE 22	0,0105	SE 48	0,00109	SE 77	0,003
SC 37	0,000735	SC 60	0,00018	SC 90	0,00921	SE 25	0,00136	SE 49	0,001	SE 79	0,0075
SC 38	0,000775	SC 62	0,00018			SE 26	0,0195	SE 50	0,0145	SE 80	0,00259
SC 39	0,00476	SC 63	0,00048			SE 27	0,00225	SE 52	0,00018	SE 82	0,00018
SC 40	0,006295	SC 64	0,00018			SE 28	0,013	SE 53	0,0075		

Para os isômeros γ -HCH e β -HCH dos solos dos condomínios, foram utilizados os Valores Máximos Permitidos para Intervenção Residencial estabelecidos pela CETESB (2014) de 0,07 mg/kg e 0,1mg/kg, respectivamente. O isômero α -HCH possui valor de Referência Residencial somente na USEPA (2013) (*EPA Region 9*), que corresponde à 0,077 mg/kg. O isômero δ -HCH não possui valores de referência na literatura.

Na área do entorno, foram utilizados os Valores Máximos Permitidos para Intervenção Agrícola, estabelecidos pela CETESB (2014) para os isômeros γ -HCH e β -HCH que são, respecti-

vamente, 0,02 mg/kg e 0,03 mg/kg. Os isômeros α -HCH e δ -HCH, não possuem valores de Referência Agrícola.

4.2 Análise estatística

A partir das médias aritméticas apresentadas nas Tabelas 1 a 4, foram realizados cálculos estatísticos conforme apresentado no item 3.2, para as concentrações dos isômeros de HCH de todas as amostras de solo dos condomínios e do entorno das células (Tabela 5).

Tabela 5. Sumário estatístico obtido para as concentrações dos isômeros de HCH nos solos.

Parâmetros	α -HCH (mg/kg)	β -HCH (mg/kg)	γ -HCH (mg/kg)	δ -HCH (mg/kg)	α -HCH (mg/kg)	β -HCH (mg/kg)	γ -HCH (mg/kg)	δ -HCH (mg/kg)
	Solos dos Condomínios				Solos do Entorno			
Média	0,00339	0,001667	0,001918	0,002079	0,038766	0,018513	0,006181	0,008608
Erro padrão	0,00029	0,000179	0,000134	0,000402	0,020605	0,008014	0,00118	0,001389
Mediana	0,0026	0,00145	0,001943	0,00054	0,0095	0,005025	0,003075	0,0075
Moda	0,00175	0,00145	0,0013	0,00018	0,0055	0,0085	0,0025	0,00018
Desvio Padrão	0,00256	0,001375	0,001088	0,002843	0,166125	0,06411	0,009437	0,010013
Variância	6,57E-06	1,89E-06	1,18E-06	8,08E-06	0,027598	0,00411	8,91E-05	0,0001
Curtose	5,14002	3,213432	0,824647	0,524108	62,45319	46,30961	24,16235	6,964815
Assimetria	2,13053	1,712683	0,786197	1,38226	7,833993	6,541191	4,342935	2,325139
Amplitude	0,0128	0,00622	0,0051	0,00934	1,3431	0,4845	0,06465	0,05182
Mínimo	0,0006	0,00018	0,000195	0,00018	0,0019	0,0005	0,00035	0,00018
Máximo	0,0134	0,0064	0,005295	0,00952	1,345	0,485	0,065	0,052
CV%	75,6424	82,52878	56,70341	134	428	380	167	120
Distribuição	Log N	Log N	N	log N	Log N	Log N	Log N	Log N
Percentil 50	0,00258	0,00135	0,001955	0,00048	0,00935	0,0045	0,003	0,007345
Percentil 75	0,00425	0,0019	0,00254	0,0023	0,0205	0,0105	0,65	0,0105
Percentil 95	0,0095	0,00465	0,00295	0,0067	0,076	0,035	0,018	0,025

Apenas os dados analíticos obtidos para o isômero γ -HCH para os solos dos condomínios obedecem a distribuição normal, ou de Gauss, segundo o método preconizado por Beus e Grigorian (1997) em função da assimetria e da curtose. Os demais dados devem provavelmente obedecer uma distribuição lognormal. Desta forma, os valores de *background* dos isômeros α , β , δ e γ , para os solos dos condomínios, seria melhor definido pelo percentil 50 de uma curva de distribuição de frequência acumulada em porcentagem, podendo-se assim também arbitrar os valores iguais ou maiores que os do percentil 95, como sendo valores anômalos. Assim sendo, os valores de *background* para os solos dos condomínios para os isômeros α , β , δ e γ abrangem os valores respectivos de, 0,00258, 0,00135, 0,001955 e 0,00048 mg/kg e como valores anômalos, os valores iguais ou maiores que 0,0095, 0,00465, 0,00295 e 0,0067 mg/kg, respectivamente. Os valores de *background* para os solos do entorno para os isômeros α , β , δ

e γ abrangem os valores respectivos de 0,00935, 0,0045, 0,003 e 0,007345 mg/kg e como valores anômalos seriam considerados os valores respectivos de 0,076, 0,035, 0,018 e 0,025 mg/kg.

Estes valores mostram que para uso residencial, os valores de intervenção adotados pela USEPA (2013) para o α -HCH (0,077 mg/kg), assim como pela CETESB (2014) para o β -HCH (0,1 mg/kg) e o γ -HCH (0,07 mg/kg) estão acima dos valores de *background* e o do percentil 95 calculados através da análise estatística da área. Contudo, para uso agrícola, os valores de intervenção adotados pela CETESB (2014) para o β -HCH (0,03 mg/kg) e para o γ -HCH (0,02 mg/kg) estão muito próximos dos valores do percentil 95 calculados para os solos do entorno através da análise estatística destes isômeros.

A partir desses valores, é possível identificar as amostras consideradas anômalas, ou seja, que ultrapassaram os valores do percentil 95, nos condomínios e no entorno.

Tabela 6. Valores de concentração dos isômeros de HCH máximos e anomalias encontradas para as amostras dos condomínios e entorno.

	Status	α -HCH (mg/kg)	β -HCH (mg/kg)	γ -HCH (mg/kg)	δ -HCH (mg/kg)	
Amostras dos Condomínios	Valores Máximos	0,0134	0,0064	0,005295	0,00952	
	Percentil 95	0,0095	0,00465	0,00295	0,0067	
	Amostras Consideradas Anômalas		0,01083 (SC-05)	0,0047 (SC-62)	0,004105 (SC-23)	0,0074 (SC-30)
			0,0126 (SC-65)	0,00465 (SC-64)	0,00295 (SC-27)	0,00765 (SC-32)
			0,0095 (SC-86)	0,0064 (SC-65)	0,00368 (SC-29)	0,00792 (SC-77)
			0,0134 (SC-87)	0,0062 (SC-86)	0,003475 (SC-32)	0,00952 (SC-79)
			0,01047 (SC-94)		0,00405 (SC-65)	0,00707 (SC-85)
					0,00305 (SC-85)	0,0067 (SC-89)
					0,0036 (SC-86)	0,00921 (SC-90)
					0,0048 (SC-87)	
			0,003165 (SC-92)			
			0,005295 (SC-94)			
Amostras do Entorno	Valores Máximos	1,345	0,485	0,065	0,052	
	Percentil 95	0,076	0,035	0,018	0,025	
	Amostras Consideradas Anômalas		0,1085 (SE-05)	0,035 (SE-34)	0,029 (SE-06)	0,052 (SE-08)
			0,076 (SE-42)	0,1225 (SE-38)	0,0235 (SE-42)	0,0342 (SE-30)
			0,086 (SE-45)	0,158 (SE-50)	0,065 (SE-59)	0,035 (SE-38)
			1,345 (SE-56)	0,485 (SE-56)	0,018 (SE-76)	0,025 (SE-56)
					0,018 (SE-82)	

Nos condomínios, foram encontradas 26 amostras consideradas anômalas para os isômeros α , β , δ e γ , porém, nenhuma dessas amostras ultrapassou os valores de referência e de apoio adotados. Já no entorno das células, foram encontradas 17 amostras consideradas anômalas. As amostras SE-34, SE-38, SE-50 e SE-56 apresentaram valores superiores ao Valor Máximo Permitido para Intervenção Agrícola para β -HCH (0,03 mg/kg) estabelecido pela CETESB (2014), e as amostras SE-06, SE-42 e SE-59 ultrapassaram o Valor Máximo Permitido para Intervenção Agrícola para γ -HCH (0,02 mg/kg), também estabelecido pela CETESB (2014).

4.3 Mapas de isolinhas de concentração

As Figuras 6, 7, 8 e 9, apresentam, respectivamente, as isolinhas de concentrações de α -HCH, β -HCH, γ -HCH e δ -HCH em planta consideradas anômalas (acima do percentil 95 calculado para os solos do entorno e dos condomínios), assim como, quando foi o caso, as isolinhas das concentrações que ultrapassaram os valores de referência para uso residencial, estendendo-se também para a área das células (SEs), incluindo o ponto de amostragem SE 05, mais a jusante da área investigada, no sentido do escoamento superficial.

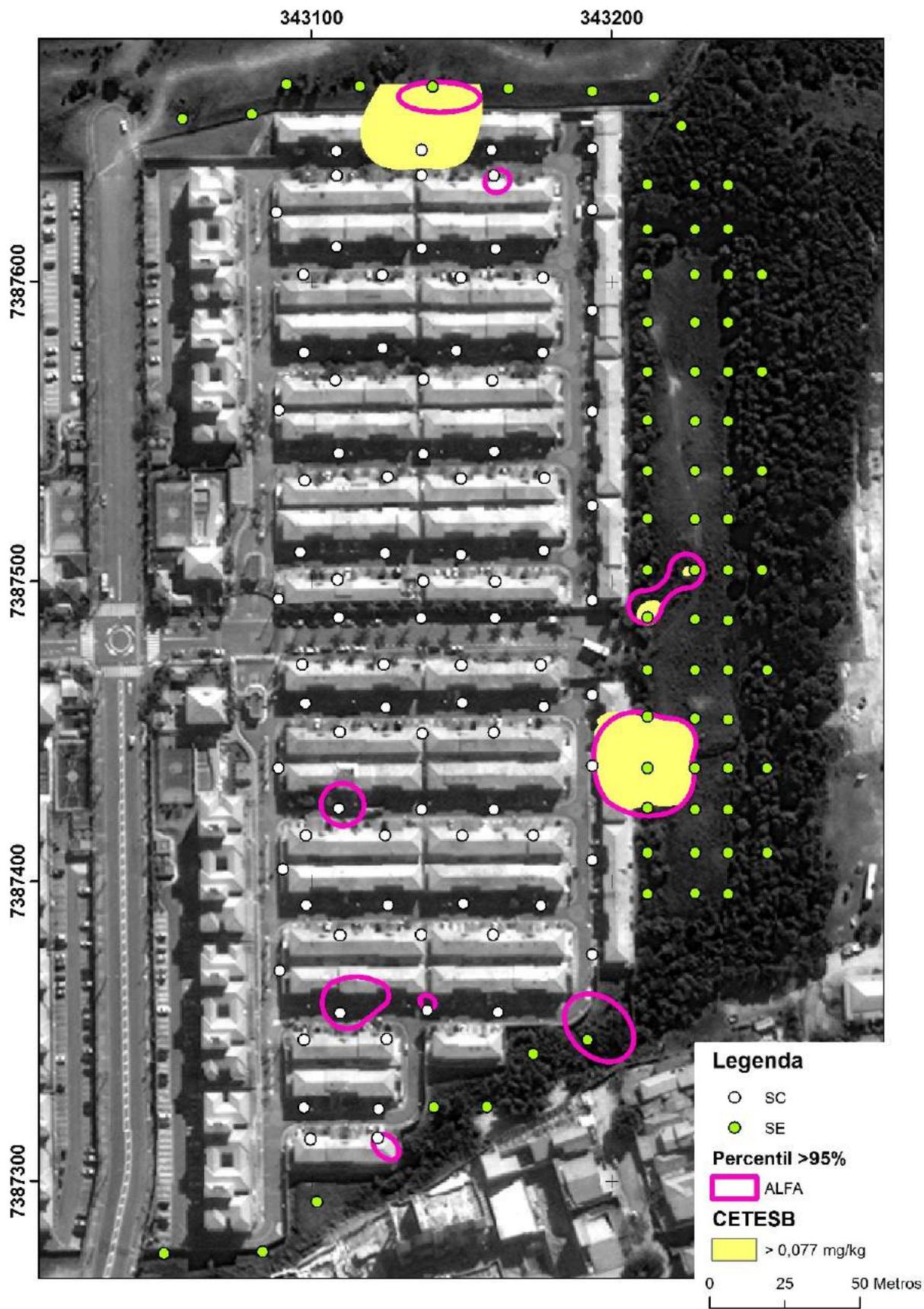


Figura 6. Mapa de isolinhas das concentrações de α -HCH consideradas anômalas e acima do valor orientador da CETESB (2014).

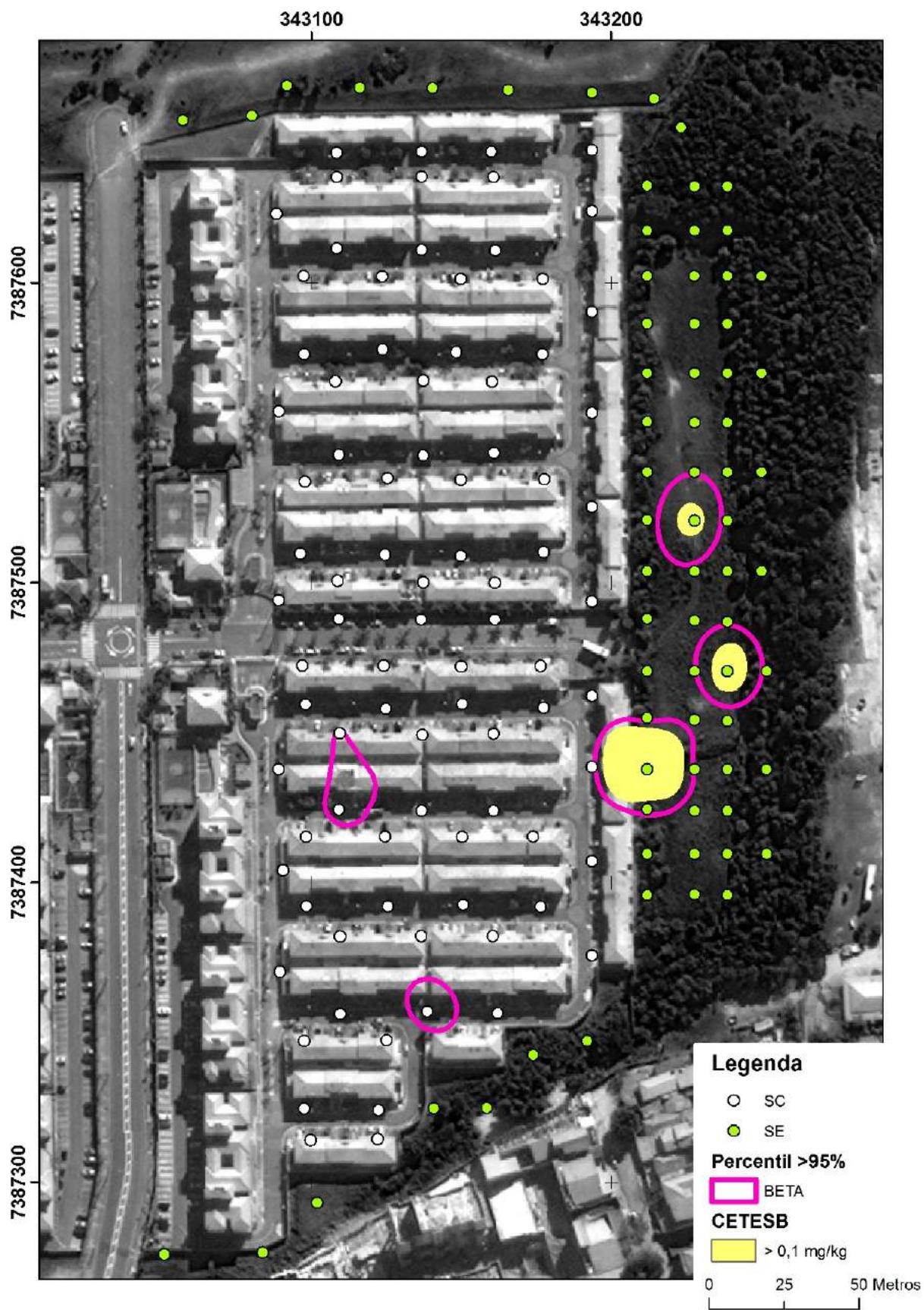


Figura 7. Mapa de isolinhas das concentrações de β -HCH consideradas anômalas e acima do valor orientador da USEPA (2013).

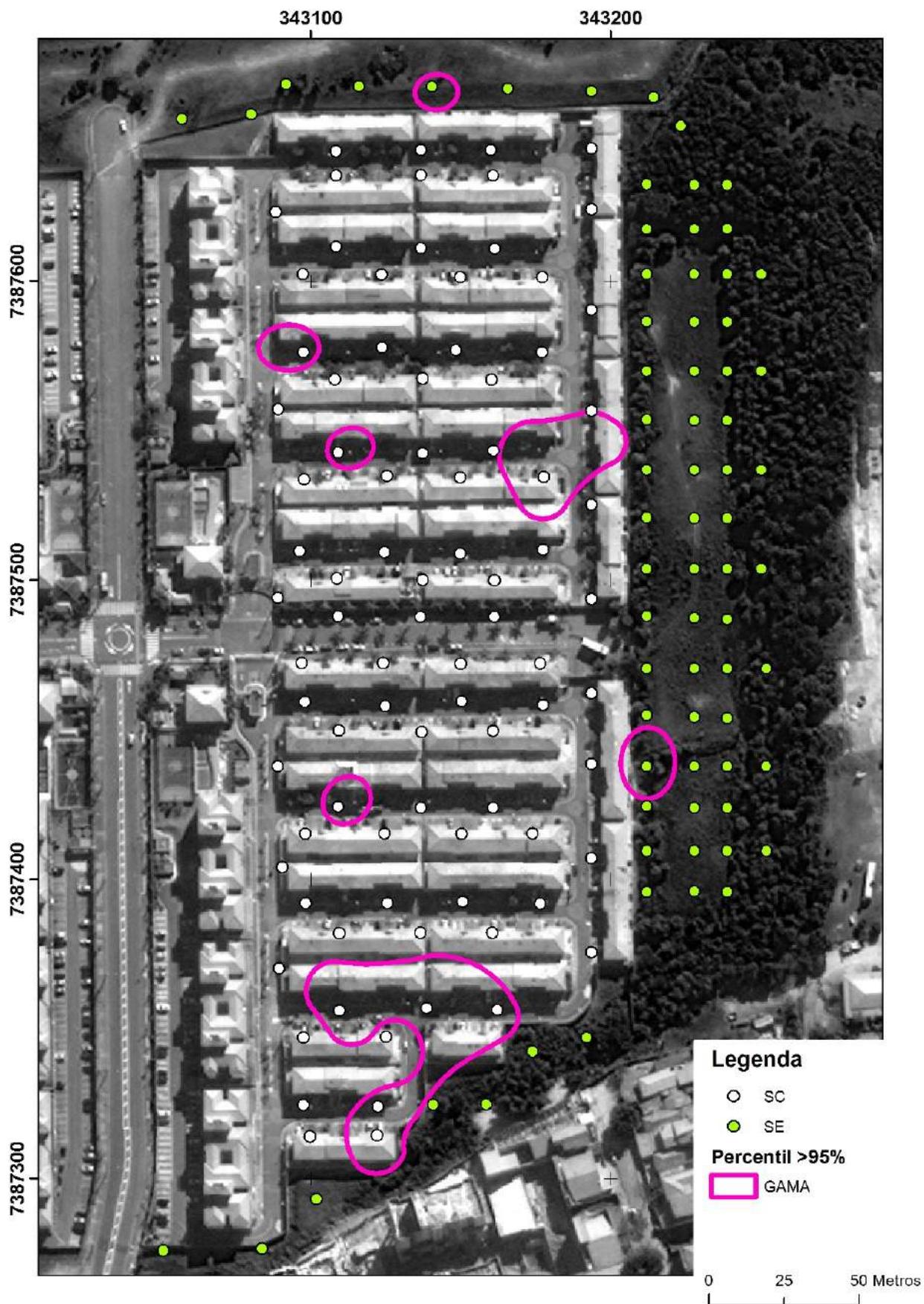


Figura 8. Mapa de isolinhas das concentrações de γ -HCH consideradas anômalas.

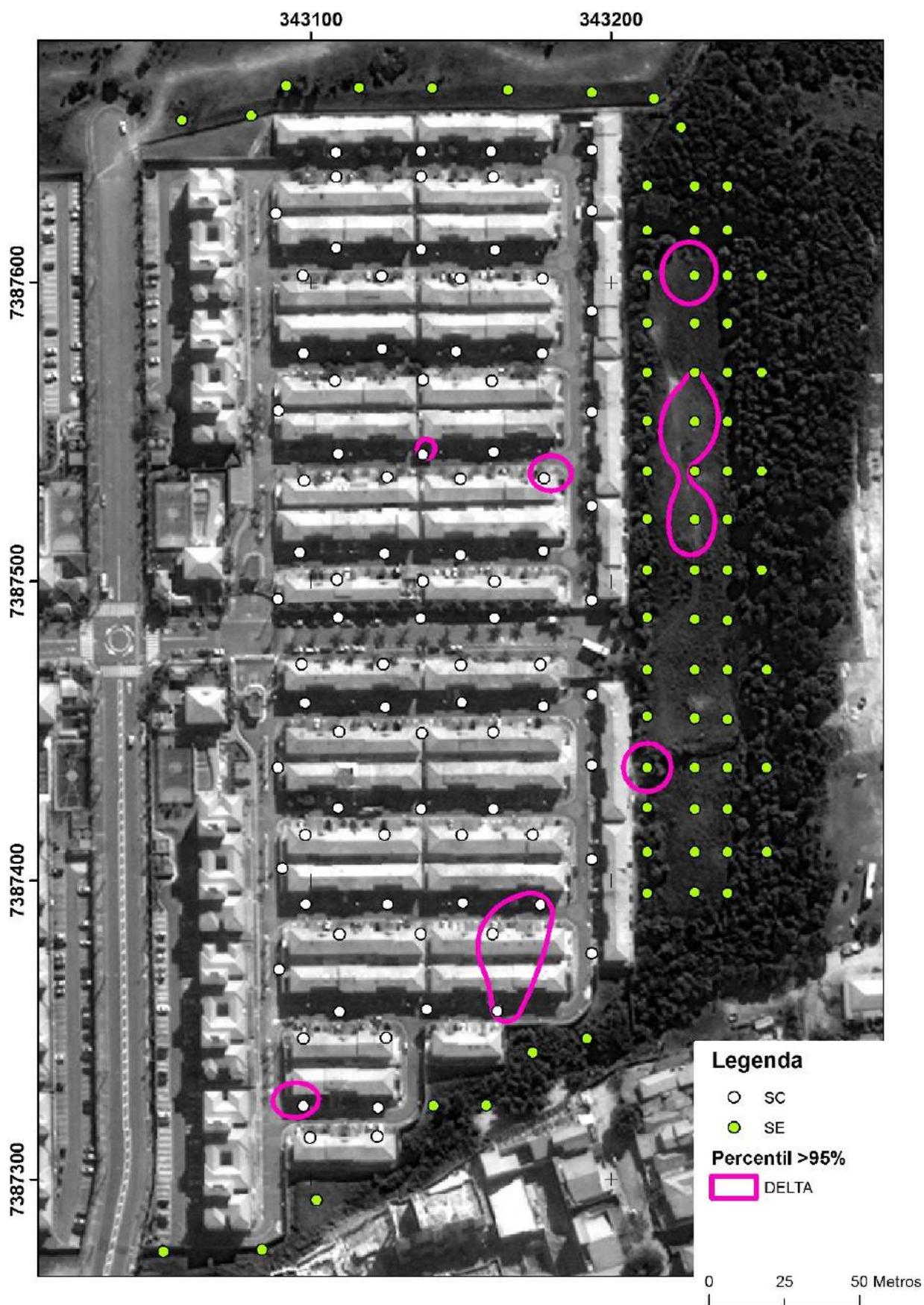


Figura 9. Mapa de isolinhas das concentrações de δ -HCH consideradas anômalas.

De maneira geral, a área das anomalias geoquímicas (acima do Percentil 95) superam as áreas das plumas de contaminação (considerando valor de intervenção para uso residencial), conforme esperado, indicando que a análise geoquímica é mais abrangente a favor da segurança. Observa-se também que existe uma tendência de as amostras consideradas anômalas e contaminadas se sobrepõem nas mesmas áreas e/ou pontos de amostragem, para os diferentes isômeros de HCH investigados, o que confirma a validade tanto do método estatístico, como dos procedimentos de amostragem, conservação e análises empregados. Essas áreas foram consideradas durante o estudo de Avaliação de Riscos, que culminou numa série de medidas de intervenção para a continuidade do uso residencial da área, assim como de tratamento dos resíduos existentes nas células.

5 CONCLUSÕES

A análise geoquímica associada ao tratamento estatístico dos dados de uma investigação dos solos superficiais de uma área contaminada permitiu a construção de mapas das anomalias e dos valores de *background* dos isômeros de HCH, tanto na área contaminada em si, como nos solos de aterro, de origem desconhecida, na área dos condomínios vizinhos, e dos solos empregados na cobertura das células de resíduos.

Na análise estatística considerou-se como anomalias os valores do Percentil 95, que ficaram muito próximos dos valores intervenção para uso agrícola adotados pela CETESB para HCH. Com isso, a confiabilidade nos métodos empregados tanto *in situ* como em laboratório foi confirmada.

Conclui-se que este tipo de análise possa ser empregado em apoio à investigação em casos de contaminação em áreas complexas, que possuem diferentes tipos de poluentes, de fontes, solo, rochas, bacias hidrográficas, e sofreram muitas intervenções antrópicas ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Departamento de Águas e Energia Elé-

trica do Estado de São Paulo (DAEE), à equipe do Centro de Tecnologias Geoambientais (CTGeo-IPT) e à equipe do Laboratório de Análises Químicas (LAQ-IPT), sem os quais a conclusão deste trabalho não seria possível.

REFERÊNCIAS

Beus, A. A.; E Grigorian, S. V. 1997. *Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits*. Applies Publishing Co. 278 p. Wilmette.

BRASIL. 1934. Decreto nº. 24.114 de 12 de abril de 1934. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos.

BRASIL. 1985. Portaria nº. 329 de 2 de setembro de 1985. Ministério da Agricultura. Brasil.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). 2014. Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996a. Soxhlet Extraction. SW-846, Method 3540C. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996b. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. SW-846, Method 3050B. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996c. Chlorinated Herbicides by GC Using Methylation or Pentafluorobenzoylation Derivation. SW-846, Method 8151A. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996d. Soxhlet Extraction. SW-846, Method 3540C. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1996e. Volatile Organic Compounds By Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS). SW-846, Method 8260B. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2007a. Organochlorine Pesticides By

Gas Chromatography. SW-846, Method 8081B. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2007b. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) By Gas Chromatography. SW-846, Method 8082A. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2007c. Semivolatile Organic Compounds By Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). SW-846, Method 8270D. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2007d. Supercritical Fluid Extraction of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Organochlorine Pesticides. SW-846, Method 3562. Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2013). Regional Screening Levels. Disponível em: <http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/>. Acesso em Março de 2014.

CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMA Q APLICADO A MAPEAMENTO DE DOMÍNIO GEOTÉCNICO-ESTRUTURAL

SYSTEM-Q CLASSIFICATION APPLIED IN GEOTECHNICAL-STRUCTURAL MAPPING

JOÃO EDUARDO FOCHI RAMIRES

Geólogo Geotécnico Líder de Mapeamento, AngloGold Ashanti – MSG, Crixás, Brasil, joao.fochi@gmail.com

GUSTAVO ANTONIO PEREIRA BATISTA

Engenheiro Geotécnico, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Perth, Australia, gapbatista@gmail.com

JAIRO HENRIQUE DA SILVA

Gerente de Geotecnia, AngloGold Ashanti – MSG, Crixás, Brasil, jh.ufop@yahoo.com.br

MARCELO PEREIRA CAMPOS

Gerente Sr. de Geologia, AngloGold Ashanti – MSG, Crixás, Brasil, MPCampos@AngloGoldAshanti.com.br

JOE SEERY

Diretor, Bastion Geotechnical Pty Ltd, Perth, Australia, j.seery@bastiongeotech.com.au

RESUMO ABSTRACT

De acordo com as melhorias adquiridas nos estudos de galerias subterrâneas ao longo do tempo, foram criados vários sistemas de classificação de maciços rochosos e técnicas de mapeamento que estão cada dia mais disseminadas em atividades mineras ao redor do mundo. Essas diferentes técnicas podem ser apropriadas, ou não, para cada caso de maciço em questão e é uma responsabilidade do profissional geólogo, geotécnico ou engenheiro, definir qual é a mais apropriada à realidade do maciço rochoso e que melhor o represente como um todo. Este trabalho tem o intuito de apresentar a integração dos dados coletados por três técnicas diferentes de mapeamento geomecânico (mapeamento de janelas, mapeamento linear e mapeamento de estruturas persistentes) e suas correlações em conjunto com o método de projeção de estruturas regionais, inferindo grandes estruturas e, conseqüentemente, facilitando as recomendações de sistema de suporte a serem realizadas.

Palavras-chave: Sistema-Q, Mapeamento de Domínio Geotécnico-Estrutural, GEM4D, Vizinho Mais Próximo, Sistema de Suporte.

According to the improvements acquired in underground galleries studies along time, several rockmass classification systems followed by mapping techniques have been created and are each day more spread in mining activities around the world. These different mapping technics can be appropriate or not to each rockmass in case and it is a responsibility from the geologist, geotechnician or engineer to define which one has the best adherence to the rockmass reality and better representing it as a whole. This work aims to show the integration of the data gathered in three geomechanical mapping techniques (window mapping, linear mapping and large structures mapping) and their correlations, plus the application of the regional structure projections method, for inferring the major structures and consequently bring more clarity to the ground support systems specifications to be done.

Keywords: Q-System, Geotechnical-structural Domain Mapping, GEM4D, Nearest Neighbor, Support System.

1 INTRODUÇÃO

O complexo de minas de ouro da Mineração Serra Grande (MSG) operadas pelo grupo AngloGold Ashanti, no Brasil central, é formado por várias operações subterrâneas profundas e rasas e minas a céu aberto. As operações subterrâneas da mina Ingá ocorrem há mais de 3 anos, com suas escavações próximas a 800 m de profundidade e seus corpos de minério sendo lavrados pelo método *Sub-Level Open Stopping*, Batista & Campos (2015).

As instalações da MSG estão localizadas próximas a cidade de Crixás, no estado de Goiás, Brasil. A cidade está a 321 km ao norte de Goiânia, a capital do estado e a 387 km a noroeste da capital do país, Brasília. O município pode ser acessado pela rodovia BR-153 a partir de Goiânia e GO-435 a partir de Brasília. A mina está localizada a 6 km a sudeste do centro de Crixás e pode ser acessada pela estrada de terra GO-336 (Fig. 1).

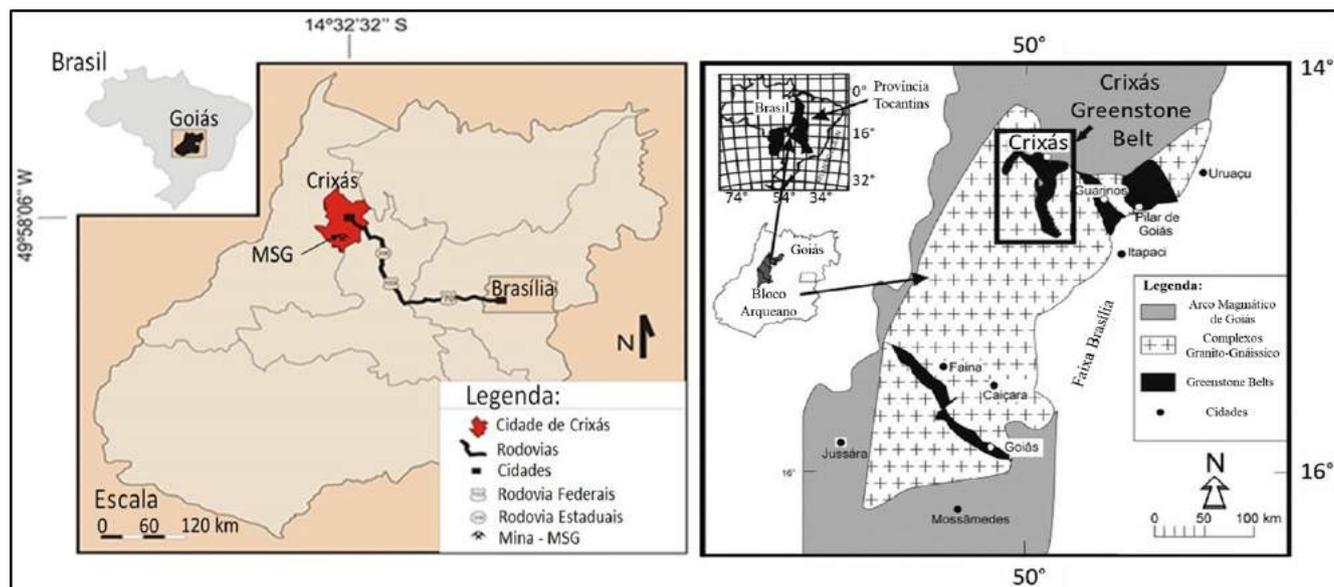


Figura 1. À esquerda, a localização geográfica do estado de Goiás, da cidade de Crixás e da Mineração Serra Grande (MSG), modificado de Ramires et al., 2019. À direita, a localização geológica da Província Tocantins, da Faixa Brasília, do Bloco Arqueano de Goiás e do Greenstone Belt Crixás, modificado de Jost et al., 2010.

O maciço da mina Ingá é composto por camadas deformadas de antigas rochas sedimentares e vulcânicas da sequência estratigráfica do Greenstone Belt de Crixás, como mencionado por Castoldi (2015), exibindo terrenos geológicos complexos que foram dobrados várias vezes, intensamente cisalhados e fraturados ao longo de sua história geológica. O Sistema Q do Instituto Norueguês de Geotecnia (2015) aplicado ao mapeamento geotécnico-estrutural de domínios tem se mostrado fundamental no entendimento e gerenciamento do comportamento do maciço rochoso ao longo do desenvolvimento da mina.

O Greenstone Belt de Crixás apresenta maciços rochosos que estão associados a dois prin-

cipais eventos deformacionais regionais no Paleoproterozóico e Neoproterozóico, por meio das orogênicas dos eventos Transamazônico e Transbrasiliano (Jost et al. 2014), estruturas que são refletidas nas minas de forma persistente. Os veios mineralizados desenvolveram um comportamento parasítico, visto que estes são compostos por pequenos veios de quartzo em diversas escalas de tamanho dentro da camada principal o que, de um ponto de vista geotécnico, tem grande impacto. Esta ocorrência natural transformou a zona de minério em uma camada mais resistente e com um caráter mais rúptil do que a rocha encaixante primária. O diferente comportamento reológico entre a camada plastificada de xisto carbonoso

que carrega os veios de minério em relação à sua matriz regular, composta puramente pelo xisto carbonoso, desenvolveu as condições estruturais necessárias para o evento de cisalhamento ocorrer nos contatos de topo e na base da camada.

É importante ressaltar que este trabalho foi publicado em inglês no 14th ISRM realizado em Foz do Iguaçu no Brasil em 2019 e que, devido a sua relevância as atividades mineras subterrâneas no Brasil, se vê importante a publicação de sua versão em português para comunidade brasileira de geotecnia mineira.

2 JUSTIFICATIVA

Os terrenos auríferos da MSG são compostos por diferentes tipos de modelos de mineralização o que reflete em diversos estilos de desenvolvimento subterrâneo e métodos de lavra que vem sendo aplicados por muitos anos pela empresa. Conseqüentemente, o nível de complexidade dos maciços rochosos que hospedam os corpos de minério é alto. Para tanto, um método de mapeamento apropriado para entender o comportamento das escavações, tanto na lavra quanto no desenvolvimento, é fundamental. Como também na estabilidade de pilares e nas recomendações dos sistemas de suporte mais adequados para cada tipo de galeria e de acordo com a sua qualidade de maciço. Sempre presando por um ambiente de trabalho seguro para o time operacional que acessa as minas subterrâneas todos os dias e lembrando que a mineração é uma das atividades geotécnicas de maior risco (Groves et al. 2007). A integração em mapa dos valores do índice de Q com as macroestruturas que definem o maciço rochoso e suas projeções, em um modelo geotécnico-estrutural tridimensional, é uma excelente ferramenta para prever o comportamento do maciço, ao longo do desenvolvimento e se tornou parte do código de práticas geotécnicas da MSG.

3 MÉTODO

O método de construção do mapa de classificação do sistema Q, integrado com os dados estruturais, consiste em quatro técnicas distintas: mapeamento de janelas, mapeamento linear,

mapeamento de estruturas persistentes e projeção tridimensional de estruturas regionais (Fig. 2). A técnica de mapeamento de janelas consiste na identificação e diferenciação de domínios geotécnicos pela intensidade de fraturamento e suas características, escolhendo o melhor afloramento para a realização da janela de classificação, por meio da fórmula de Q, proposta pelo Instituto Norueguês de Geotecnia (2015), como demonstrado na Equação 1. Sempre buscando a melhor representação de cada subdomínio como um todo, dentro da janela escolhida, os parâmetros de Q (RQD, Jn, Jr, Ja, Jw e SRF), são coletados junto com as orientações de mergulho e azimute de cada família de estruturas.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

RQD = índice de designação da qualidade da rocha; Jn = número de famílias de juntas; Jr = rugosidade da junta; Ja = número de alteração da junta; Jw = fator de redução de água da junta; e SRF = fator de redução de estresse.

A técnica de mapeamento linear consiste em aplicar os valores do índice Q e as características estruturais, ambos coletados na janela escolhida, ao resto do domínio que estes representam e ao longo de uma mesma galeria com a mesma orientação. Em uma área onde a mesma estrutura ocorre no mesmo contexto litológico, com orientação estrutural similar e com um número regular de exposições, um domínio linear pode ser definido. A técnica de mapeamento de estruturas persistentes consiste em coletar as medidas e parâmetros de Jr, Ja e Jw das grandes descontinuidades que cruzam os dois lados da galeria, gerando condições potencialmente instáveis ao longo do desenvolvimento da mesma. A técnica de projeções de estruturas regionais é baseada na modelagem tridimensional dos planos das grandes estruturas. O processo é realizado com o software GEM4D, da BasRock, por meio da conexão dos planos de macroestruturas da mesma família e com orientação estrutural similar que ocorrem nas galerias adjacentes e subjacentes, controlando os limites das estruturas a partir de suas aparições em diferentes níveis da mina (Fig. 3).

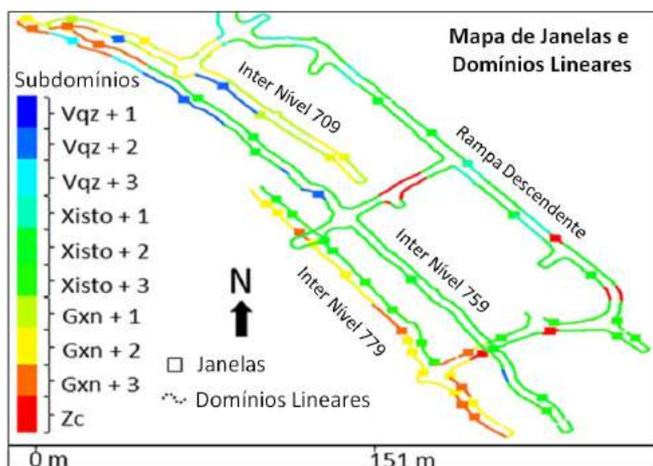


Figura 2. Mapa de janelas e domínios lineares.

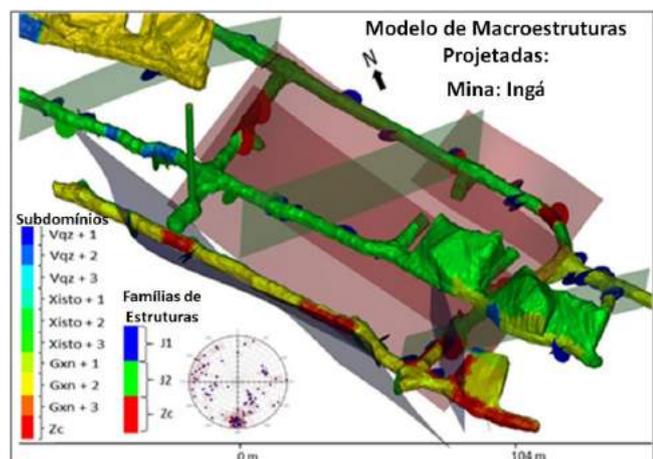


Figura 3. Modelo integrado de subdomínios e macroestruturas projetadas.

A integração das quatro técnicas listadas acima definem o método de domínio Q-Estrutural. O produto final é a rápida interação entre todos os dados usando o software GEM4D com o intuito

de gerar informação de alta qualidade, em tempo recorde, para a operação de curto prazo e, a partir de um modelo tridimensional preciso é possível construir um banco de dados denso e inteiramente coletado in situ.

Como consequência, o gerenciamento de risco é aprimorado, uma vez que os riscos de instabilidade são reduzidos devido as especificações apropriadas de sistema de suporte realizadas, fornecendo um ambiente seguro ao time operacional que trabalha no subterrâneo.

4 RESULTADOS

Quatro domínios geotécnicos-estruturais foram identificados: zonas de cisalhamento (Zc), xisto grafitoso (Gxn), xisto não grafitoso (Xisto) e veios de quartzo (Vqz). Cada um desses grupos, com exceção das zonas de cisalhamento, são sub classificados em três subdomínios (+ 1, + 2 e + 3), de acordo com o número de famílias de estruturas presentes dentro da janela de classificação.

O domínio + 1 representa uma janela onde apenas a foliação regional (Sn) é observada. O domínio + 2 representa uma janela onde a Sn e mais outra família de estrutura (junta ou zona de cisalhamento) são observadas. O domínio mais + 3 representa uma janela onde a Sn e mais duas outras famílias de estruturas (juntas ou zonas de cisalhamento) são observadas. Baseado nas observações até o momento, a Tabela 1 demonstra os domínios e as características de seus subdomínios. Em todos os subdomínios, estruturas aleatórias são consideradas de acordo com a classificação do Jn.

Tabela 1. Litologias, intervalos de resultados de Q e classes rochosas dos subdomínios.

Subdomínio*	Litologia	Intervalos de Q	Classes de Rocha
Zc	Zonas de Cisalhamento	0,2 - 5,0	Muito pobre - pobre
Gxn + 3	Xisto grafitoso	0,7 - 16,7	Muito pobre - bom
Gxn + 2	Xisto grafitoso	13,8 - 32,5	Bom
Gxn + 1	Xisto grafitoso	25,9 - 56,7	Bom - muito bom
Xisto + 3	Xisto grafitoso	1,6 - 18,9	Pobre - bom
Xisto + 2	Xisto grafitoso	5,1 - 28,3	Justo - bom
Xisto + 1	Xisto grafitoso	28,3 - 66,7	Bom - muito bom
Vqz + 3	Veios de Quartzo	2,7 - 14,6	Pobre - bom
Vqz + 2	Veios de Quartzo	12,3 - 20,6	Bom
Vqz + 1	Veios de Quartzo	25,0 - 50,0	Bom - muito bom

*As zonas de cisalhamento representam os domínios mais problemáticos de um ponto de vista de estabilidade, mas é importante ressaltar que todos os subdomínios + 3 podem ser tão problemáticos quanto elas ao longo do desenvolvimento, assim como também durante a lavra.

4.1 Classificação de Domínios

Os domínios de Gxn e Xisto demonstram classes de rochas de muito pobres a muito boas e são considerados os domínios mais predominantes do maciço. Eles apresentam comportamentos geotécnicos similares pelo fato de suas gêneses litológicas ocorrerem associadas. Na maior parte das vezes eles tendem a aflorar como uma mistura dos dois, com um prevalecendo ao outro de forma

localizada. A razão para sua grande exposição é o fato de que, em seus contatos, são hospedados os veios de quartzo com ouro e os desenvolvimentos secundários (galerias de minério) são realizadas ao longo deste contato. De qualquer forma, ao avaliar a predominância entre os dois, o Xisto é preponderante, pois o desenvolvimento primário (rampas, nichos, travessas e etc.) feito para acessar as zonas de minério, é realizado no *footwall*, onde ocorre a sua maior exposição.

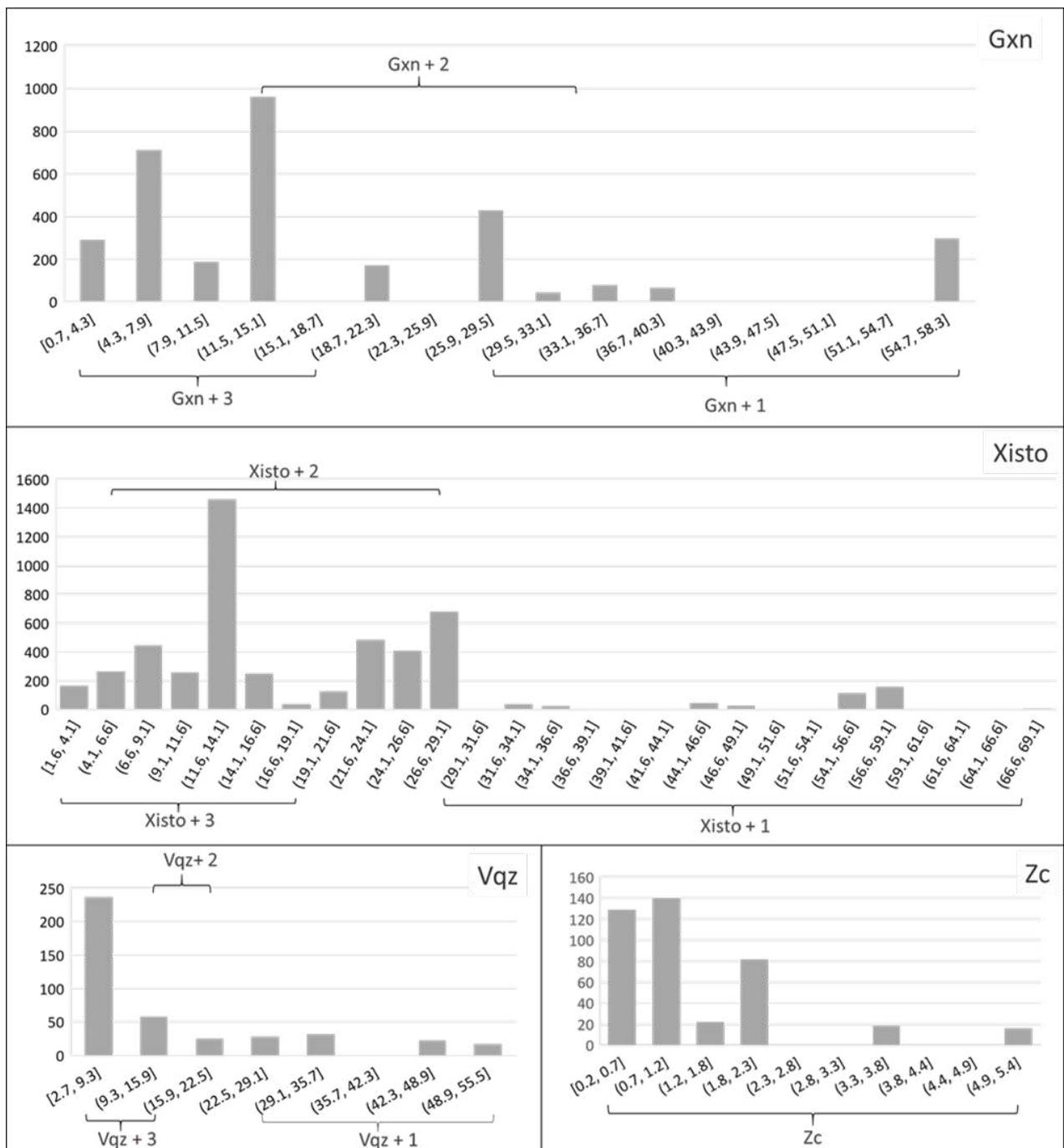


Figura 4. Histograma demonstrando os resultados de Q por subdomínio classificado.

Devem ser ressaltadas as diferenças entre mapear o desenvolvimento primário e secundário, uma vez que, no secundário, os veios da zona de minério serão lavrados e o foco do mapeamento é caracterizar o *hangingwall* e o *footwall*¹. Já no primário, o foco é caracterizar toda a seção da galeria, cobrindo as paredes e teto. Portanto, os veios são mapeados quando sua espessura é superior ao teto da galeria. Neste cenário, o veio contempla todo o *hangingwall* e explica a baixa densidade de dados de Vqz. É observado que o Vqz demonstra classes de rochas de pobres a muito boas (Fig. 4).

A Zc apresenta classes de rocha de muito pobres até pobres e tende a ser discreta em escala de galeria, porém é persistente em escala de mina quando olhando para o maciço como um todo. Os domínios de Vqz e Zc, juntos com os demais subdomínios + 3, são os principais focos do mapeamento, pois representam as piores condições de terreno a ser interceptado nos maciços do Greens-tone Belt de Crixás. Constantemente, estes são interceptados em rampas, travessas e dentro do veio de minério no *hangingwall* e *footwall*, devido a sua gênese ser temporalmente relacionada ao evento de mineração dos veios auríferos. A Figura 4 demonstra um histograma com as observações de subdomínios.

Considerando a ausência de água subterrânea no maciço onde a mina Ingá encontra-se geologicamente localizada, sua relação com o fator de redução de estresse (SRF) se torna uma constante, devido ao fato de que a área de mapeamento em questão tem uma pequena diferença de elevação e, conseqüentemente, os efeitos de estresses diferenciais dentro desta porção da mina são insignificantes. Do ponto de vista de estabilidade, é compreensível que, quando analisando os baixos resultados da relação Jr/Ja da fórmula do Q, os valores mais baixos de Q de um subdomínio + 1 podem ser tão problemático quanto os mais altos de um + 2. O que também é aplicável para a relação entre os resultados mais baixos de Q de um + 2, e os mais altos de um + 3.

Em todos os domínios, o espaçamento, tanto da foliação quanto das famílias de juntas, é na ordem de centímetros e interação de forma pareci-

da, sendo que o RQD de Palmstrom (2005), que é derivado da estimativa do espaçamento, torna-se o parâmetro mais sensível na caracterização do maciço rochoso.

Assumindo que os resultados da relação Jr/Ja são constantemente 1,5, sendo que as fraturas dos domínios de Vqz expressam alta rugosidade e preenchimento duro por quartzo, fica claro que a equação tende a ser mais controlada pela relação RQD/Jn. Mesmo em um subdomínio + 1, a intensidade do faturamento é alta e leva a diminuição da relação RQD/Jn, e conseqüentemente, diminui o resultado da divisão dos dois.

O domínio da Zc não é subdividido devido aos baixos resultados de Q e os parâmetros de RQD, Jr e Ja terem os valores mais baixos entre todas as estruturas. Eles representam condições de instabilidade de terreno, sendo os principais responsáveis por grande parte das rupturas em galerias. O que gera a necessidade da aplicação de suporte de superfície em todas as exposições desta estrutura, assim como também nos subdomínios + 2 e + 3, dependendo de sua exposição e o tipo de desenvolvimento subterrâneo.

4.2 Caracterização Estrutural

Como demonstrado nos resultados da tabela 2 e no estereograma da Figura 5, quatro famílias de estruturas foram identificadas: uma foliação regional (Sn), a qual também representa os contatos litológicos, duas famílias de juntas separadas em quatro direções principais (J1e, J1w, J2n e J2s), e a família das zonas de cisalhamento (Zc). Isto representa a caracterização estrutural do maciço em escala de mina e a classificação de domínios previamente descrita em escala de galeria e pode conter subconjuntos da classificação global.

1 O *hangingwall* representa o maciço rochoso acima da mineralização (capa) e o *footwall* o abaixo (lapa).

Tabela 2. Parâmetros de Q e estruturais das famílias de estruturas.

Estrutura*	Família	Dip/DipDir	Jr	Ja	Jw	N° Observações
Foliação	Sn	36°/236°	1,5	1	1	152
Zonas de Cisalham.	Zc	55°/229°	0,5	1	1	16
Junta	J1e	78°/088°	2	2	1	54
Junta	J1w	71°/268°	2	1	1	25
Junta	J2n	73°/357°	2	1	1	125
Junta	J2s	76°/190°	2	2	1	15

*A Sn e Zc, são subparalelas em azimute, porém não no mergulho, visto que a Zc é mais inclinada. Assumindo que o evento de cisalhamento ocorreu ao longo do mergulho da Sn, e elas apresentarem o Jr mais baixo dentre todas as estruturas, é possível entender o seu controle estrutural.

Denotando a importância do ponto de vista geotécnico, a combinação entre essas estruturas e a orientação das galerias pode proporcionar condições de instabilidade, aumentando a incidência de queda de blocos se o sistema de suporte correto não for aplicado.

Duas famílias de juntas foram identificadas: J1 e J2, sendo as mesmas subclassificadas como J1e (78°/088°), e J1w (71°/268°), pois representam um par conjugado subparalelo com mergulho variando de leste para oeste. J2n (73°/357°) e J2s (76°/190°) também são um par conjugado subparalelo, com seu mergulho variando de sul para norte.

J1w e J2n apresentam predominantemente parâmetros Jr e Ja com valores de 2 e 1, respectivamente, visto que nenhum preenchimento é observado nas paredes das fraturas e ambos apresentam um Jr ligeiramente rugoso devido a sua matriz rochosa irregular.

J1e e J2s apresentam predominantemente parâmetros Jr e Ja ambos iguais a 2, sendo que eles apresentam preenchimentos não alterados de quartzo e carbonatos nas paredes das fraturas. Todas essas discontinuidades apresentam Jw de 1 visto que não é observado influência de água nas discontinuidades.

A foliação regional Sn apresenta orientação preferencial 31°/248°, apresenta-se crenulada ao longo do de seu azimute, porém, com marcas de lineação tipo *slickenside*, ao longo do mergulho. Demonstra resultados predominantes para Jr e Ja de 1,5 e 1, respectivamente, devido a superfície de suas discontinuidades serem moderadamente rugosas e sem preenchimento.

As zonas de cisalhamento apresentam orientação preferencial 42°/239°, apresenta-se crenulada

ao longo do azimute, porém, com marcas de lineação tipo *slickenside*, ao longo do mergulho. Expressa resultados predominantes para Jr e Ja de 0.5 (com aspecto espelhado) e 1, respectivamente, com uma superfície suave e sem preenchimento.

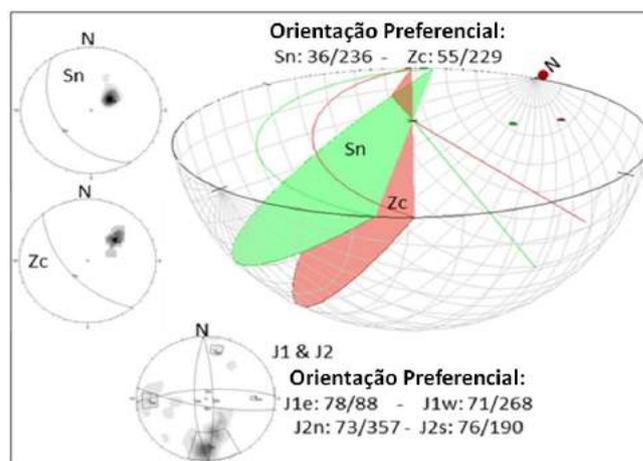


Figura 5. Estereogramas demonstrando o controle estrutural do maciço rochoso da mina Ingá.

4.3 Integração de Dados

O produto final é a rápida integração dos dados processados a partir das três técnicas de mapeamento e a projeção tridimensional das macroestruturas. Aplicando as ferramentas de interpolação do software GEM4D pelo método do Vizinho Mais Próximo de Isaaks & Srivastava (1989), é possível plotar os valores do índice Q no design tridimensional das escavações e visualiza-los junto com as macroestruturas (Fig. 6).

É notável que o simples fato de visualizar os valores de Q integrados com as escavações e as estruturas que definem o controle estrutural

da área, favorece o gerenciamento antecipado de possíveis instabilidades, em prol de especificar o sistema de suporte mais adequado para cada domínio mapeado a longo da galeria. Junto à rápida integração de dados e após todo o processo pronto, tem-se a facilidade de analisar e resolver problemas a partir de um ponto de vista técnico preciso. Simplesmente entendendo como as estruturas estão geologicamente localizadas e orientadas permite entender seus impactos nos diversos tipos de desenvolvimento subterrâneo escavados pelas minas da MSG.

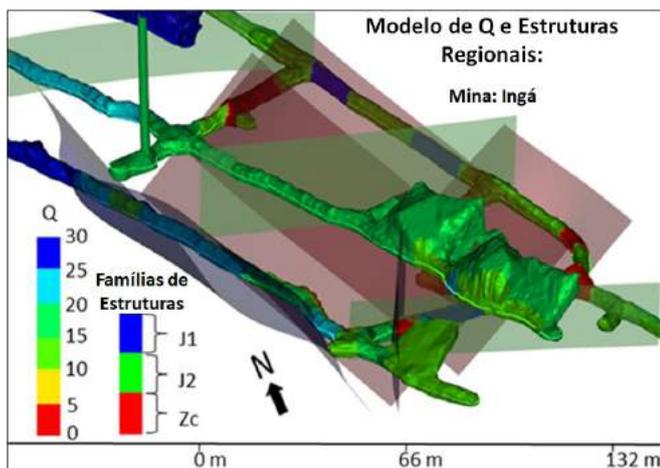


Figura 6. Resultados de Q interpolados no design subterrâneo integrados com as macroestruturas.

5 CONCLUSÕES

O método aplicado demonstrou boa aderência ao trabalho proposto e se tornou um procedimento na divisão de mecânica de rochas da Mineração Serra Grande correspondendo a uma das técnicas presente no Código de Práticas Geotécnicas da AngloGold Ashanti. O produto chave deste trabalho é a previsibilidade em gerenciar não apenas condições de instabilidades, mas também em otimizar a orientação do desenvolvimento subterrâneo de um ponto de vista estratégico, evitando os inúmeros problemas que eventuais condições ruins de terreno e macroestruturas com potencial de ruptura podem causar a galerias subterrâneas.

Por meio da plotagem dos valores de Q no ábaco de especificação de sistema de suporte do Instituto Norueguês de Geotecnia (2015), é possível definir a combinação de sistema de suporte mais apropriada para cada condição de

terreno exposta na área mapeada. Interpolando os resultados de Q, adquiridos pelas técnicas de mapeamento no design tridimensional das galerias subterrâneas, é possivelmente definir exatamente onde a combinação de sistema de suporte especificado pelo ábaco deve ser instalado na mina. Adicionalmente, entender o arranjo estrutural de um terreno altamente deformado e como o mesmo irá se comportar em relação ao sistema de suporte, é uma excelente tática.

A oportunidade de se aplicar a contenção específica e apropriada de acordo com a qualidade do maciço e as principais macroestruturas trouxe um novo cenário para as operações subterrâneas da MSG, contribuindo para atingir a excelência operacional de maneira segura e lucrativa.

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer a Mineração Serra Grande e a AngloGold Ashanti por permitir esta publicação e apoiar a iniciativa. Também, a todas as pessoas envolvidas neste artigo e os apoiadores: Diogo A. Costa, Kobus Du Plooy, Emrich Hamman, Lammie Nienaber, Gerhard Hofmann, Julian Venter, Gerson R. Rincon, Lucas Siqueira, Philippe Resende, a minha esposa Renata S. D. Borges e minha família.

REFERÊNCIAS

- Batista, G.A.P., Campos, M.P. (2015) Aplicações Geotécnicas para Redução da Diluição Operacional na Lavra Subterrânea: 4º Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas, São Paulo. CBT, 9 p.
- Castoldi, M.A.S. (2015) O Distrito Aurífero de Crixás - GO: Caracterização do Novo Corpo de Minério Ingá, trabalho de formatura, Departamento de Geologia / UFRGS.
- Groves W.A., Kecojevic, V.J., Komljenovic, D. (2007) *Analyses of fatalities and injuries involving mining equipment. Journal of Safety Research*, 38, p. 461-470.
- Isaaks, E.H., Srivastava R.M. (1989) *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York, NY, USA, 561 p. 6.

- Jost, H., F.C. Junior, I.A. Dussin, C.C.G. Tassinari, R. Martins. 2010. *A U-Pb zircon Paleoproterozoic age for the metasedimentary host rocks and gold mineralization of the Crixás greenstone belt, Goiás, Central Brazil*. Ore Geol. Rev. Res. 37: 127 – 139.
- Jost, H., Carvalho M.J., Rodrigues V.G. & Martins R. 2014 *Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras, Greenstone Belts de Goiás*. CPRM, p. 141-166.
- Norwegian Geotechnical Institute (2015) *Using the Q-system for Rock Mass Classification and Support Design*, Handbook, NGI, Oslo, Norway, 54 p.
- Palmstrom, A. (2005) *Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD), Tunnelling and Underground Space Technology*, 20, p. 362-377.
- Ramires, JEF, Batista, GAP, Da Silva, JH, Campos, MP, Seery, JM (2019) *Q-system classification applied to geotechnical-structural domain mapping, Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development: proceedings of the 14th ISRM*, ed. Balkema, ISRM, Foz do Iguaçu, p. 520-527.

■ DESCRIÇÃO QUANTITATIVA DE “TESTEMUNHOS VIRTUAIS” NA OBTENÇÃO DE UMA CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS LITOLOGIAS PRESENTES EM DEPÓSITOS DE FERRO

QUANTITATIVE DESCRIPTION OF “VIRTUAL CORES” IN OBTAINING A GEOLOGICAL – GEOTECHNICAL CLASSIFICATION OF LITOLOGIES IN IRON ORE DEPOSITS.

DOUGLAS MARCEL QUATIABARA SANDER LIBARDI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil. quatiabara@gmail.com

PAULO SALVADORETTI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil. paulo.salvadoretti@ufrgs.br

GEORGE OLUFUNMILAYO GASPER

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil. gee_mailz@yahoo.com

OLUWAFEMI SHEKONI AYODEJI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil. shekony@yahoo.com

TIAGO DE ALMEIDA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil. almeida.geologia@gmail.com

JOÃO FELIPE COIMBRA LEITE DA COSTA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil. jfelipe@yahoo.com

ELIAS KASPARY POOTER

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil. e_pooter@hotmail.com

RESUMO ABSTRACT

O *Optical Televiewer* (OTV) é um dispositivo de perfilação geofísica que produz imagens contínuas e orientadas da parede de furos de sondagem. Imagens geradas por OTV desempenham um papel auxiliar em campanhas de exploração mineral e na aquisição de informações geotécnicas. A caracterização geológico-geotécnica de maciços rochosos é fundamental para a identificação de condicionantes geológicas e estruturais associadas à estabilidade de escavações em rochas. Várias estruturas existentes no interior dos maciços não são normalmente acessadas via sondagem testemunhada, em função de dificuldade recuperação de testemunho no processo de sondagem e restrições econômicas pelo custo da sondagem. Estruturas como planos de foliação, dobras, sistemas de fraturas, per-

The *Optical Televiewer* (OTV) is a geophysical profiling device that produces continuous and oriented images of the wall of drill holes. Images generated by OTV play an auxiliary role in mineral exploration campaigns and the acquisition of geotechnical information. The geological-geotechnical characterization of rock masses is fundamental for the identification of geological and structural constraints associated with the stability of rock excavations. Several structures inside the massifs are not normally accessed via recovered core sample and probing, due to difficulty of retrieval of testimony in the probing process and economic constraints due to the cost of the survey. Structures such as foliation planes, folds, fracture systems, water percolation in the massif and openings can be completely lost by a low

colação de água no maciço e aberturas podem ser completamente perdidas por uma baixa recuperação de testemunhos. O televisionamento com OTV serve então para auxiliar na identificação e análise destas zonas de fraqueza existentes nos maciços. Neste trabalho, foram realizadas perfilagens em furos de sondagem executados em minas que fazem parte da ‘Megaestrutura Gandarela’, localizada na porção centro-norte do Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais (Brasil). Feições geológicas de interesse foram retiradas das imagens obtidas com a sonda OTV e dos dados de geoposicionamento oferecidos pela sonda. Um dos objetivos deste estudo foi a aplicação e avaliação de uma metodologia de aproveitamento do testemunho virtual proposta em publicações recentes, às imagens produzidas por OTV em minas situadas no Quadrilátero Ferrífero. Constatou-se também que o uso do OTV é de grande valia como ferramenta auxiliar na identificação de estruturas internas do maciço, as quais de outra forma não poderiam ser acessadas.

Palavras-chave: GEOFÍSICA, OTV, MINÉRIO DE FERRO, OPTICAL TELEVIEWER.

1 INTRODUÇÃO

O televisionamento de furos de sondagem surge atualmente como um importante auxílio na análise de problemas geotécnicos em minas a céu aberto e subterrâneas. Esta técnica de perfilagem geofísica é relativamente nova e foi introduzida no Brasil no ano de 2001 (Baillot et al., 2004). Mesmo levando-se em conta suas possíveis vantagens, apenas recentemente foi proposta uma metodologia detalhada para o aproveitamento das imagens (Oliveira et al., 2014 e Oliveira, 2015).

No presente trabalho, é feita uma aplicação da metodologia de aproveitamento do testemunho virtual proposta em Oliveira et al. (2014) e Oliveira (2015) em imagens adquiridas com OTV em furos de sondagem executados nas minas Tamanduá e Gongo Soco, situadas no Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais (Brasil). A Tabela 1 descreve os furos considerados neste estudo e seus respectivos comprimentos.

Nas situações onde a metodologia proposta não foi diretamente aplicável, procurou-se verificar:

- quais são as informações realmente observáveis nas imagens compiladas, dentre as citadas pela metodologia;

recovery of testimonies. The televising by OTV then serves as an auxiliary tool for the identification and analysis of the weakness zones existing in the massifs. In this work, geophysical logging were executed in boreholes in mines that are part of the ‘Gandarela Megastructure’, located in the central-northern portion of the Quadrilátero Ferrífero, in the State of Minas Gerais (Brazil). Geological features of interest were taken from the images obtained with the OTV probe and the geo-positioning data provided by the probe. One of the objectives of this study was the application and evaluation of a methodology for the use of the virtual testimony proposed in recent publications, to the images produced by OTV in the Tamanduá and Gongo Soco mines located in the Quadrilátero Ferrífero. It was also verified that the use of OTV is of great value as an auxiliary tool in the identification of internal structures of the rocky massif that other probing device could not accessed.

Keywords: GEOPHYSICS, OTV, IRON ORE, OPTICAL TELEVIEWER.

- quais são os possíveis empecilhos para que não se possa seguir à risca a proposta metodológica oferecida.

Ressalta-se aqui a grande valia da proposta de Oliveira (2015), a qual serve como guia em uma área onde não havia um padrão a ser seguido.

Tabela 1. Furos perfilados nas aquisições de dados.

Mina	Furos	Profundidade (m)	Comprimento Perfilado (m)
Mina Gongo Soco	GSOFG00023	115	111
	GSOFG00025	110	109
	GSOFG00027	150	49
Mina Tamanduá	TAMFD00022	120	117
	TAMFD00069	151	147

1.1 OTV e sua aplicação na caracterização de maciços rochosos

O *Optical Televiewer* (OTV) é um dispositivo de perfilagem geofísica que produz uma imagem contínua e orientada de 360° da parede do furo de sondagem. O uso de imagens de OTV é práti-

ca internacionalmente conhecida na identificação de feições geológicas dos estratos (Fredrick *et al.*, 2014). Conforme mencionado em Blake(2010), a combinação da técnica de sondagem com circulação reversa (sondagem RC) com o televisionamento dos furos pode levar a uma redução significativa de custos, reduzindo a necessidade de extração de testemunhos com sondagem rotativa. Desta forma, as imagens geradas por OTV desempenham um papel auxiliar em campanhas de exploração mineral e na aquisição de informações geotécnicas.

A aquisição de imagens com OTV envolve um *scan* radial da parede do furo, o qual é orientado no espaço tal que as características de trajetória e profundidade do furo podem ser determinadas. As imagens podem ser orientadas, possibilitando assim uma análise cuidadosa da estrutura e geologia de interesse para cada furo. Tipicamente, as informações adquiridas são exportadas para análises adicionais possibilitando a produção de *stereonets* para as estruturas. Durante a perfilação, os dados armazenados incluem a inclinação e azimute do equipamento no interior do furo de sondagem, com magnetômetros e medidores de inclinação (acelerômetros) tridimensionais.

Conforme Gwynn *et al.* (2013) e Thomas *et al.* (2015), o erro previsto na determinação da posição espacial de feições geológicas, para a técnica de sondagem orientada, pode chegar a 13°, enquanto que o OTV apresenta um erro cumulativo de $\pm 1,7^\circ$ para o *dip* e $\pm 4^\circ$ para o *dip direction*. Assim, é uma ferramenta de grande auxílio na construção de estereogramas e na análise de estabilidade cinemática.

A caracterização geológico-geotécnica de maciços rochosos é fundamental para a identificação de condicionantes geológicas associadas à estabilidade de escavações e estruturas subterrâneas. Várias estruturas existentes no interior dos maciços rochosos não são normalmente acessadas ou quando observadas via sondagem testemunhada tem um custo muito elevado, tornando o adensamento de malha economicamente inviável. Essas estruturas não acessadas ou observadas podem influenciar completamente a estabilidade da rocha intacta, afetando diretamente a estabilidade de taludes em minas a céu aberto, a estabilidade de escavações em minas subterrâneas ou a estabilidade de construções urbanas.

Estruturas como planos de foliação, dobras, conjuntos e sistemas de fraturas, percolação de água no maciço e aberturas podem ser completamente perdidas por uma recuperação de testemunho pobre. O televisionamento surge então como um auxílio na análise dos possíveis pontos de fraqueza existentes em um maciço rochoso. As imagens geradas pelo OTV não devem ser consideradas como um substituto para a sondagem testemunhada, mas sim um poderoso aliado em situações em que os materiais não são recuperados da melhor forma.

De acordo com Oliveira *et al.* (2015), embora o Manual de Sondagens da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 2013) tenha inserido tópicos sobre esta ferramenta de investigação (OTV), ainda há uma ausência de sugestões e exemplos de como esses dados poderiam ser aplicados para projetos em geral, uma vez que não existem documentos normativos para este.

Tendo em vista que um maciço rochoso pode ser representado, em muitas situações, por um conjunto de blocos de rocha intacta delimitados por descontinuidades, é essencial que sejam descritas tanto a rocha intacta quanto os tipos de descontinuidades que a limitam está pedaços intactos. Desta forma, Oliveira (2015) sugere que se faça a descrição em duas partes distintas, conforme segue:

1. Rocha Intacta
2. Descontinuidades
 - 2.a) Tipo de estrutura
 - 2.b) Rugosidade
 - 2.c) Abertura
 - 2.d) Preenchimento, percolação de água e condições de alterações das paredes
 - 2.e) Grau de Fraturamento
 - 2.f) RQD Teórico

2 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GEOLÓGICOS DAS ÁREAS DE ESTUDO

Neste estudo, foram utilizados furos de sondagem executados em minas que fazem parte da 'Megaestrutura Gandarela', localizada na porção centro-norte do Quadrilátero Ferrífero, Estado de Minas Gerais - Brasil (Figura 1).



Figura 1. Localização da Mina Gongo Soco e da Mina Tamanduá.

2.1 Geologia local – Mina gongo soco

A geologia da cava da Mina Gongo Soco, onde encontram-se os 3 furos filmados com OTV, apresenta como principais litologias aflorantes: solo saprolítico, rocha intrusiva metabásica, hematitas, itabiritos, quartzitos, filitos e xistos (Anon., 2008).

Em se tratando da geologia estrutural da área, em mapeamentos feitos diretamente sobre o terreno (Anon., 2008) foram identificadas várias estruturas planares e lineares, sendo as mais importantes: bandamento (Sb), foliação (Sn), clivagem de fratura (Sn+1), famílias de fraturas (Fr) presentes nas rochas metabásicas (IN), lineação de intersecção (Li) e eixo de dobra (bn).

O bandamento (Sb) é a estrutura principal e condicionante da estabilidade dos taludes na Mina Gongo Soco, sendo possível sua identificação em quase todas as litologias da cava.

Outra estrutura penetrativa observada em praticamente todos os litotipos é a foliação Sn. A geração da Sn pode estar associada tanto a processos cisalhantes como a dobramentos.

Em se tratando das fraturas, de uma maneira geral, as juntas apresentam persistência métrica.

Suas superfícies são predominantemente lisas e onduladas, fechadas, sem preenchimento e com espaçamento pequeno a moderado (centimétrico e decimétrico).

É importante observar que o bandamento Sb, a foliação Sn e as fraturas, são as estruturas possíveis de visualização com o OTV, sendo que este fato será levado em conta nas análises posteriores.

2.2 Geologia local – Mina tamanduá

Na Mina Tamanduá, foram adquiridas imagens de OTV em dois furos, assinalados na Figura 3.

Segundo Anon. (2012), a cava atual da mina é constituída predominantemente por itabiritos friáveis (IF, IGO), itabiritos médios (IM), itabiritos compactos (IC), filitos e quartzitos, com presença subordinada de hematitas, itabiritos argilosos (IAL, IMN), rochas intrusivas e metavulcânicas.

Em termos de estruturas geológicas existentes na área, foram identificados os seguintes elementos (Anon., 2012): o acamamento So (observado nos filitos e quartzitos da encaixante), o bandamento composicional Sb, a foliação Sn e as superfícies de cisalhamento Scis.

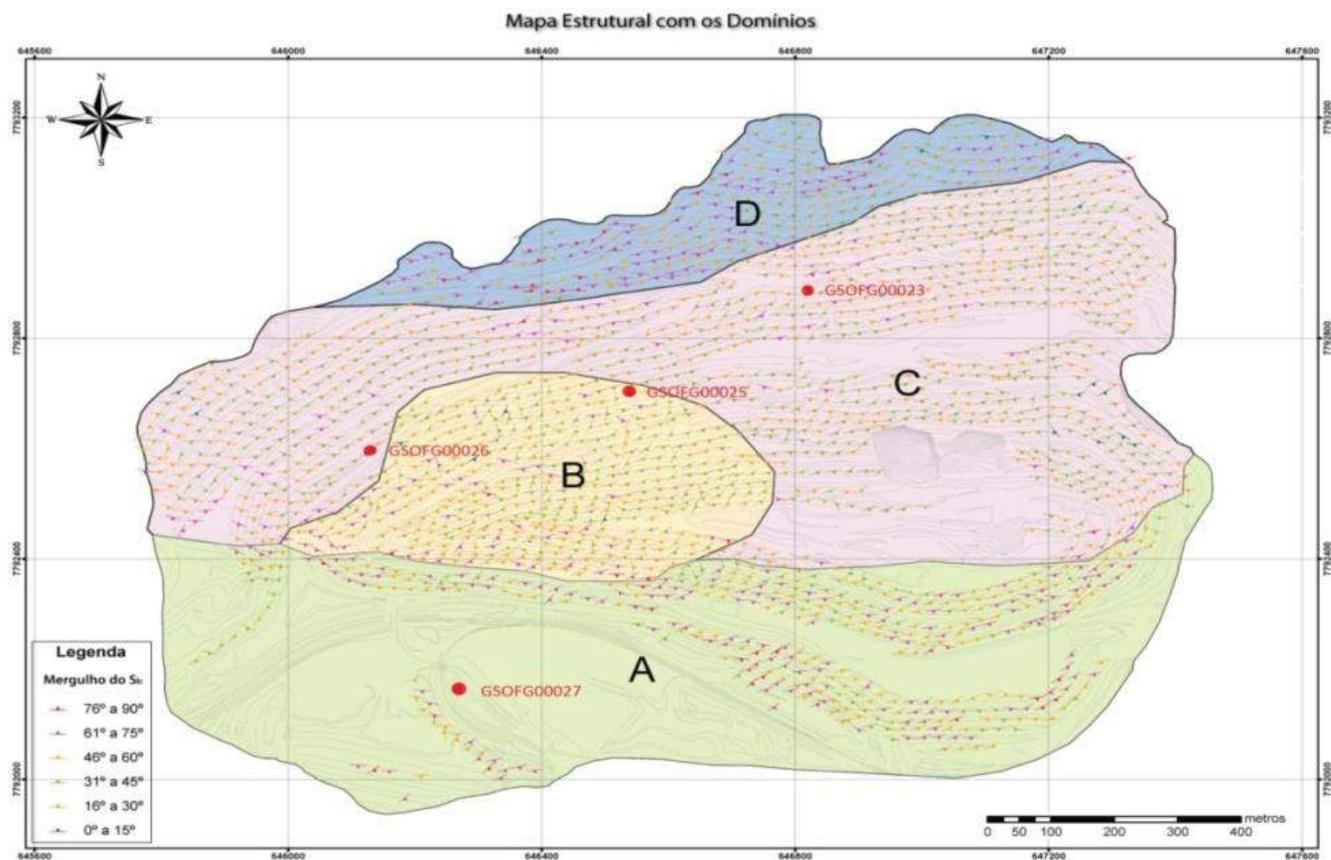


Figura 2. Mapa dos Domínios Estruturais da Mina Gongo Soco, e a localização dos quatro furos perfilados.

Fonte: Anon., 2008.

3 COLETA DE DADOS E METODOLOGIA: DESCRIÇÃO QUALITATIVA DO MACIÇO ROCHOSO

O propósito do estudo realizado por Oliveira (2015) é atingir um mínimo grau de padronização na caracterização e classificação de discontinuidades em um maciço rochoso a partir de imagens de OTV. Considerando que já existe uma sugestão para a descrição quantitativa de discontinuidades

de maciços em ISRM (1978), Oliveira (2015) optou por seguir as mesmas sugestões de parâmetros aí descritos, adaptando esses parâmetros às necessidades do televisionamento de furos. O próprio ISRM já admite o uso de câmeras para caracterizar discontinuidades, em especial quando se refere a aberturas no maciço, pois estas podem influenciar diretamente nas tensões cisalhantes e na percolação de água dentro do maciço.

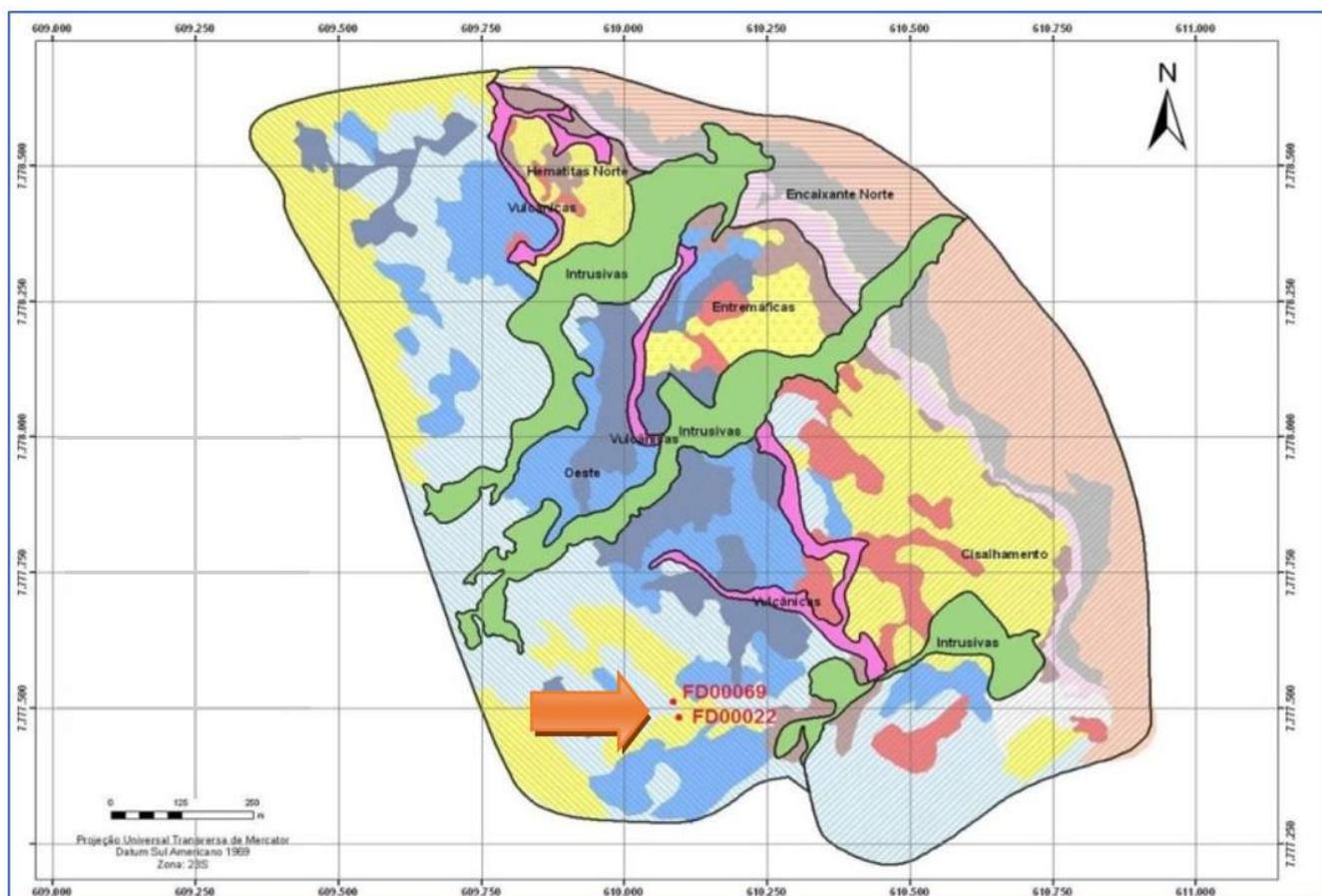


Figura 3. Domínios Litológicos da Mina Tamanduá. Os furos televisionados encontram-se no Domínio Oeste e entre os Subdomínios de Hematita Friável e Itabirito Friável Silicoso.

3.1 Rocha intacta

Os parâmetros sugeridos para a descrição da matriz rochosa possíveis de serem observados nas imagens de OTV e de interesse para análises geotécnicas, são: a descrição dos litotipos, estruturas, texturas, composição mineralógica e seu grau de alteração. *Oliveira (2015)* alerta quanto à necessidade de se descrever os aspectos do corpo como um todo, incluindo-se estruturas ditas penetrativas como foliação, xistosidades, bandamentos, acamadamentos, dobramento e veios.

É relevante ressaltar a necessidade de familiaridade do analista das imagens com relação às litologias de interesse. Furos de sondagem podem estar “sujos” pela lama usada na perfuração, fazendo com que os testemunhos apresentem colo-

ração diferente em relação às imagens ou devido à iluminação gerada pelo OTV. A filmagem pode ainda não estar bem correlacionada com a profundidade do testemunho devido a alguma perda causada por fragmentação do testemunho durante a sondagem. Na Figura 4 percebem-se as possíveis perdas de informação na recuperação do testemunho e como elas foram “recuperadas” pelas imagens. Observa-se também uma das grandes vantagens no uso do OTV, que é a visualização de estruturas ainda preservadas na rocha friável mesmo após os processos geológicos ocorridos. Neste caso, análises sobre a qualidade do material podem ainda ser realizadas, já que no testemunho apenas conclui-se que se trata de um material bastante degradado.

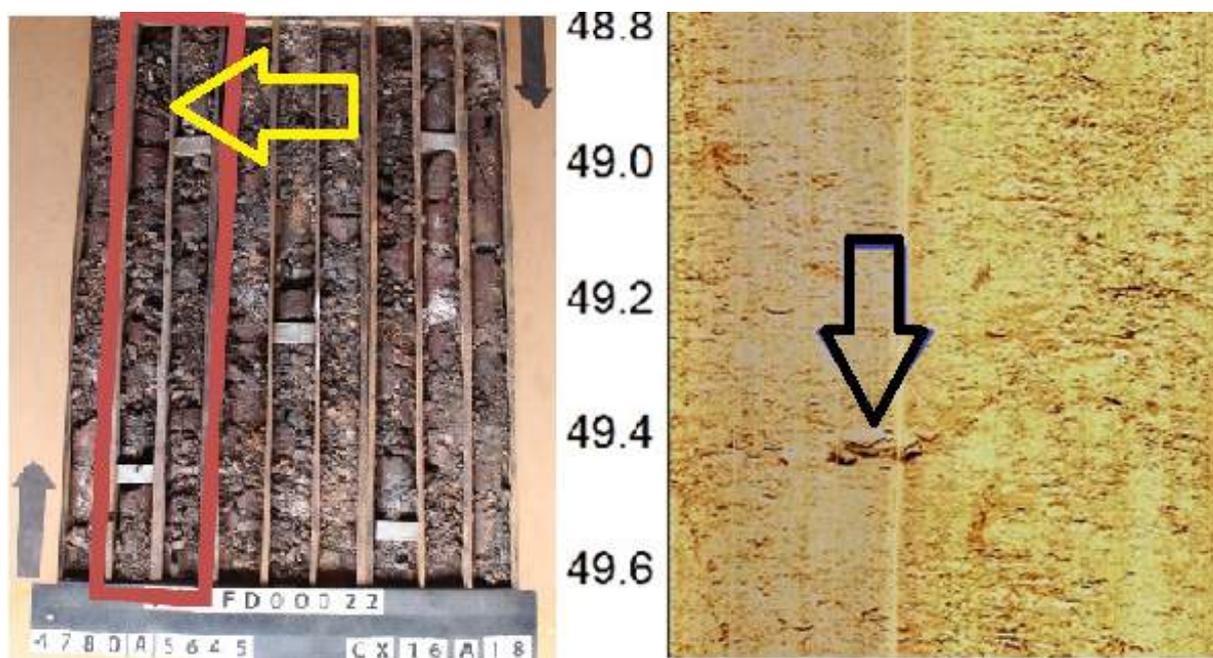


Figura 4. Foto da caixa de testemunho (à esquerda) do furo FD00022, Mina Tamanduá, comparada com o televisionamento (à direita) do mesmo furo. Ressaltada pela seta preta, uma fratura não apresentada na caixa de testemunho (ver retângulo vermelho e uma seta amarela indicando, aproximadamente, a região onde a fratura deveria ocorrer). É importante ressaltar que, neste caso específico, a diferença de coloração entre OTV e testemunhos foi gerada pela adição excessiva de flocculante usado na água do furo de sondagem, conferindo um tom amarelado à imagem de OTV.

Oliveira (2015) ressalta a importância de se demarcar a foliação/bandamento ao longo de toda a imagem do furo de sondagem, verificando as possíveis mudanças relevantes na sua orientação, o que pode indicar alterações no perfil geotécnico e estrutural e no comportamento litológico.

Na Figura 5, percebe-se o bandamento marcado em verde na imagem gerada por OTV. Não foram marcados todos os bandamentos observados para não poluir demasiadamente a imagem (a equipe de interpretação acordou que seriam marcados os bandamentos uma vez a cada um metro, aproximadamente). Outra estrutura que deve ser apresentada e indicada na imagem gerada pelo testemunho são os veios existentes no meio da estrutura principal. Estes veios são visualmente muito diferentes das rochas que os circundam. Também na Figura 5, vê-se um veio de quartzo de aproximadamente 1,0 m, cercado por filitos.

Pode-se, em alguns casos, inferir o estado de alteração da rocha, mesmo que esta caracterização seja bastante limitada. É possível elencar algumas variações no brilho e na coloração dos minerais indicando uma maior alteração da rocha com relação aos trechos de rocha sã. Com tais parâmetros, pode-se avaliar a resistência mecânica. Segundo *Oliveira (2015)*, como medida indireta desta resistência mecânica, pode-se observar a “rugosidade” das paredes, considerando que a perfuração do furo de sondagem implicaria em um desgaste nestas paredes, ficando mais evidente tal desgaste quanto mais alterada for a rocha. Observa-se um exemplo deste comportamento na Figura 6, com as paredes dos furos apresentando maior desgaste na rocha devido ao seu estado de alteração.

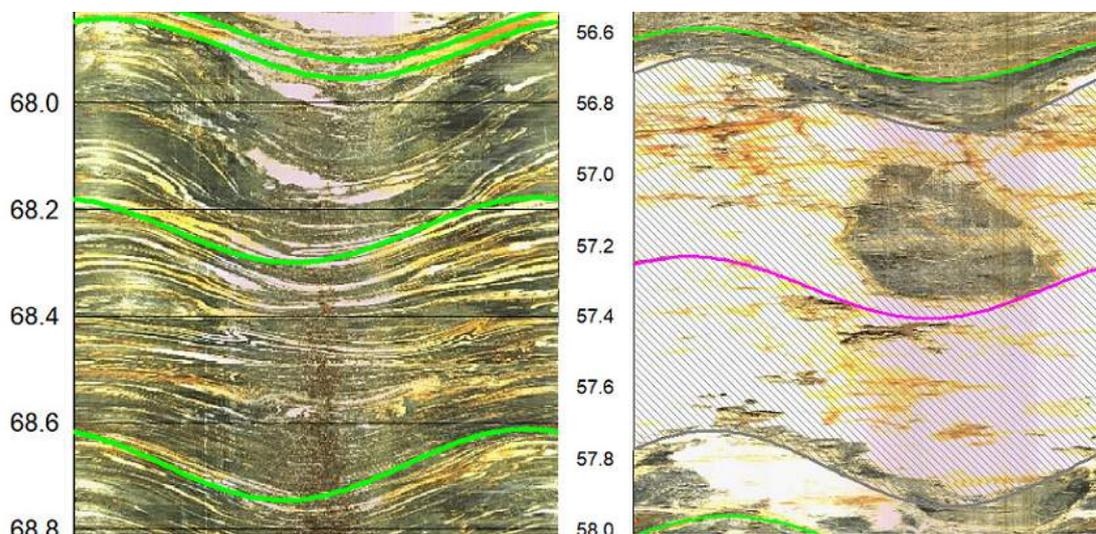


Figura 5. (Esquerda) Imagem das marcações (na cor verde) dos bandamentos no furo GSOFG00023, Mina Gongo Soco. (Direita) Imagem de um veio de quartzo no Furo GSOFG00025.

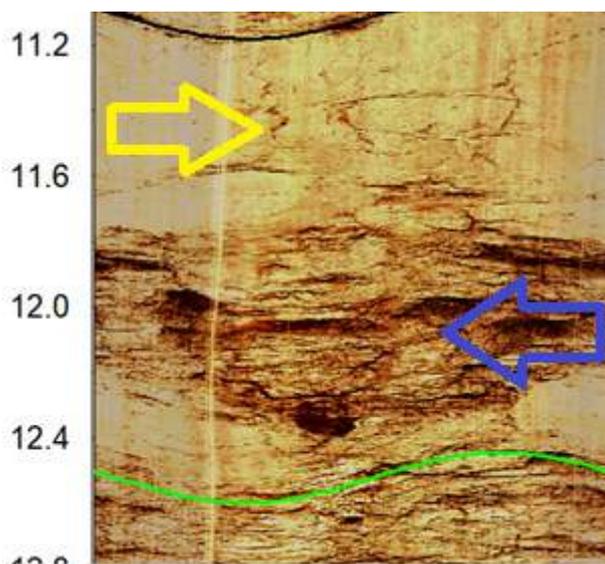


Figura 6. Mudança de estrutura lisa (indicada pela seta amarela) para rugosa (indicada pela seta azul) no furo FD00022; Mina Tamandua.

Conforme sugerido por Oliveira et al. (2014), pode-se usar a Tabela 2, adaptada do IPT (1984, apud Serra Junior & Ojima, 1998), ou adaptações de ISRM (1978) para melhor caracterizar o grau de alteração da rocha.

Fredrick et al. (2002) ressalta que a qualidade da rocha não pode ser determinada por OTV sem que haja inicialmente uma calibração utilizando a geotecnia do local. O OTV apenas oferece um indicativo da integridade da rocha, de uma forma semelhante à análise de fotografias do testemunho

da rocha. Fica assim evidenciado que OTV é um auxiliar ao programa de sondagem na construção de um projeto mineiro ou civil.

Tabela 2. Graus de alteração (adaptado de IPT, 1984, apud Serra Junior & Ojima, 1998).

Siglas	Denominações	Características da rocha
A1	Rocha sã ou praticamente sã	Apresenta minerais sem vestígios de alteração ou minerais ligeiramente descoloridos. Minerais com brilho.
A2	Rocha medianamente alterada	Apresenta minerais com menor brilho e a rocha é bastante descolorida.
A3	Rocha muito alterada	Apresenta minerais sem brilho, rocha intensamente descolorida.
A4	Rocha extremamente alterada	Apresenta minerais totalmente sem brilho e a rocha intensamente descolorida, aspecto de solo.

3.2 Descontinuidades

“Sob a designação descontinuidade engloba-se qualquer feição geológica que interrompa a continuidade física de um dado meio rochoso, como as superfícies de fraturas, falhas, etc. Em termos práticos, pode-se designar por descontinuidade qualquer superfície natural em que a resistência à tração é nula, ou muito baixa” (ISRM, 1978).

Utilizando os softwares disponíveis para compilar os dados adquiridos durante a filmagem, pode-se gerar dois tipos de imagem com o furo televisionado. A primeira delas uma imagem cônica contendo uma visão tridimensional do furo televisionado, uma imagem “enrolada” do furo. A segunda imagem é uma imagem “desenrolada”, onde abre-se a imagem tridimensional transformando-a em uma imagem bidimensional. Após desenrolar a imagem, percebem-se as descontinuidades e estruturas presentes como formas senoidais, as quais permitem determinar as orientações espaciais destas estruturas.

Conforme *Oliveira (2015)*, deve-se descrever os demais parâmetros que caracterizam uma descontinuidade tais como tipo de estruturas, espaçamento, rugosidade, abertura, presença e material de preenchimento, alteração das paredes e percolação de água, os quais pode-se observar de forma indireta. Chega-se ao ponto de caracterizar o maciço rochoso fazendo uma estimativa do RQD teórico, proposto em variadas correlações por diferentes autores.

3.3 Tipos de estruturas

É importante diferenciar as estruturas penetrativas das descontinuidades. Estruturas como acamadamentos, bandamentos, veios, dobras e contatos litológicos devem ser separados das fraturas e aberturas. Mesmo com esta tentativa de separação algumas vezes mais de um tipo de estrutura ocorrerá em um mesmo trecho. Na Figura 7, pode-se perceber a ocorrência de uma fratura em um veio de quartzo (furo GSO00025, Mina Gongo Soco). Neste caso, há uma clara identificação do veio, bem como sua real localização no interior do furo de sondagem.

Conforme *Baillet et al. (2004)* no caso de sondagem testemunhada em maciços rochosos com fraturas incipientes, as forças e vibrações geradas pela perfuratriz podem induzir um aumento na frequência de fraturas nas amostras, gerando uma redução no RQD da rocha, levando assim a uma estimativa inferior na qualidade da rocha.

Há casos em que não é possível visualizar estruturas na sondagem testemunhada, devido a uma recuperação mais baixa. O televisionamento dos furos de sondagem surge desta forma como um complemento das informações perdidas no testemunho. Pode-se, como já citado, ter uma maior precisão na localização das estruturas e sem perda na informação. Percebe-se na Figura 8, referente ao furo GSOFG00025, uma fratura levemente aberta pouco antes da sonda penetrar na água. Na foto do testemunho, não se reconhece, em lugar algum, esta mesma fratura. Caso esta sondagem não tivesse sido televisionada, esta informação teria sido perdida.

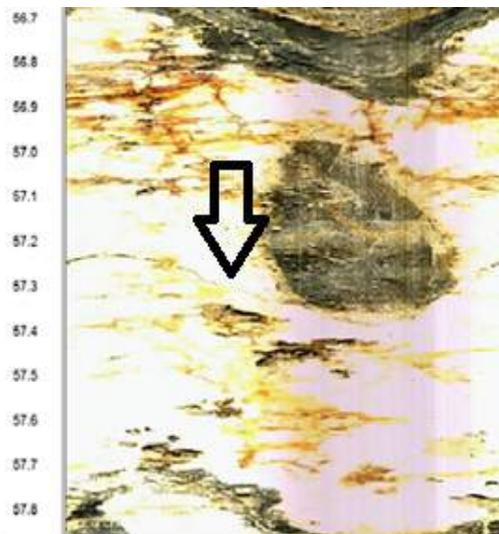


Figura 7. No Furo GSO00025 pode-se ver, via OTV, um veio de quartzo de comprimento 1 m, cortado por uma fratura, indicada pela seta.



Figura 8. Fratura no furo GSOFG00025 (à esquerda), onde tem-se o nível d’água marcado claramente aos 14,5m e fotografia do testemunho de sondagem deste furo (à direita). A fotografia dos testemunhos não permite identificar a fratura visível no televisionamento.

3.4 Rugosidade

Conforme *Oliveira (2015) e ISRM (1978)*, a rugosidade de discontinuidades é um importante fator de influência na resistência ao cisalhamento, em especial no caso onde há contato parede-parede. Em termos gerais, a rugosidade é caracterizada em função das irregularidades existentes (também definida como a rugosidade em si) e ondulações. Na prática, a ondulação afeta a direção inicial de deslizamento sobre um plano, enquanto que a rugosidade afetará a resistência ao cisalhamento.

Existem duas formas de quantificar a rugosidade em imagens de televisionamento. A primeira delas seria considerar a linha traçada para a marcação de estruturas como uma referência para a rugosidade, quanto mais esta linha ficar contida no traço da discontinuidade da imagem, menos rugosa seria a fratura, quanto menos contida no traço da discontinuidade mais rugosa esta discontinuidade seria. Na Figura 9, vê-se à esquerda os perfis de rugosidade sugeridos por *Barton (1987)* e, à direita, uma modificação para as fraturas observadas em furos televisionados. Os perfis de Barton foram modificados e separados para perfis de menor detalhe, reduzindo assim a análise apenas para rugosa, lisa ou polida. O termo “polida” só pode ser usado em caso de grande

evidência de deslocamento por cisalhamento, conforme o *ISRM (1978)*.

Na Figura 10, tem-se a segunda sugestão a ser aplicada no televisionamento, com o objetivo de detalhar e buscar maior exatidão no cálculo da rugosidade dos planos de discontinuidade, conforme sugerido por *Barton (2013)*. A linha apresentada nesta figura, no canto superior esquerdo, nas imagens de televisionamento de sondagem, deve ser a linha traçada pelo programa, conforme indicado na Figura 10.

Mesmo com os dois métodos apresentados, nota-se que se trata de metodologias qualitativas e empíricas. O técnico que realizar a análise da filmagem pode ser levado por seus conhecimentos prévios do local a uma análise errônea da rugosidade das fraturas. De acordo com *Oliveira (2015)*, existem casos de fraturas que não são facilmente definidas como lisas, rugosas, outras, entretanto, são bastante evidentes. Essa dificuldade de reconhecer a rugosidade pode acontecer também no testemunho de sondagem. De qualquer forma, o procedimento é bastante qualitativo e altamente dependente do analista.

Durante o processamento dos dados do presente trabalho, optou-se pelo primeiro método, mais qualitativo e empírico. Pode-se elencar dois fatores a influenciar a análise da rugosidade de uma discontinuidade. O primeiro seria que nem

sempre a linha marcada sobre a imagem está perfeitamente alinhada com a fratura em estudo. Outro ponto bastante relevante é que, na maioria das vezes, as fraturas não são abertas o suficiente ou o

televisionamento não possui a qualidade necessária para que se possa perceber as ondulações nas fraturas (Figura 11).

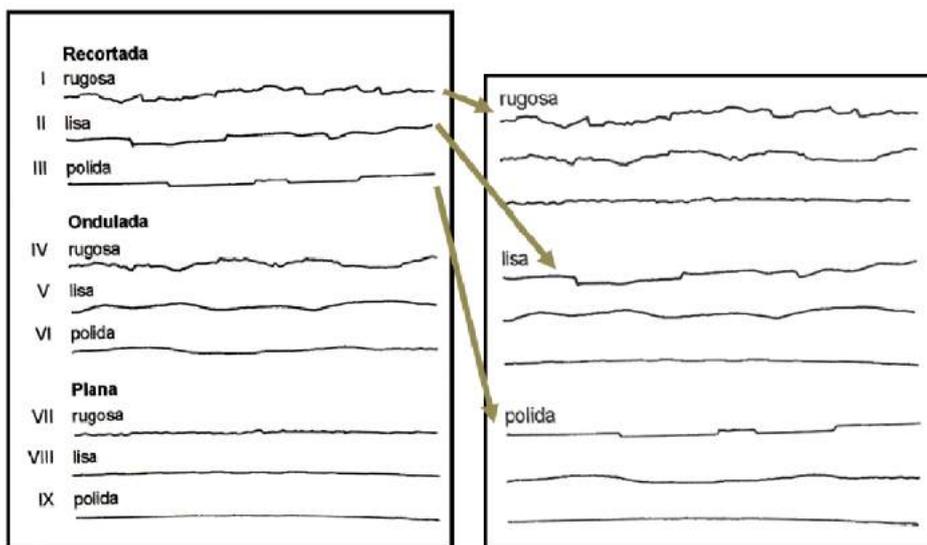


Figura 9. Perfis de rugosidade de Barton *et al.* (1974). Adaptação dos perfis de rugosidade de Barton para aplicação em imagens de televisionamento. (Oliveira *et al.*, 2014)

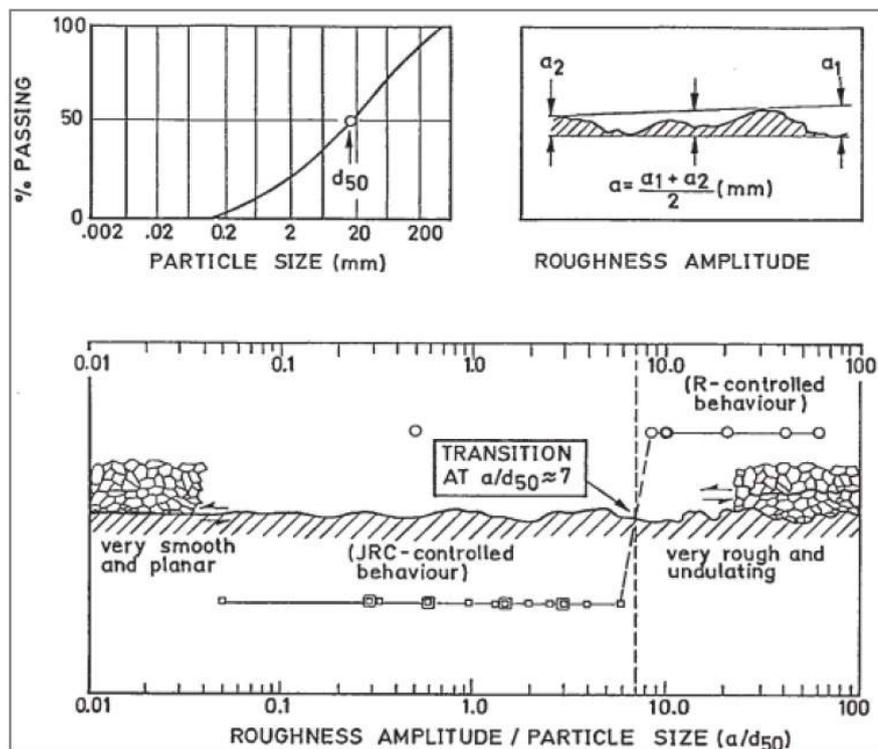


Figura 10. Cálculo da amplitude de perfis de rugosidade em superfície rochosa, considerando a amplitude da rugosidade (a) e o tamanho dos grãos (Barton, 2013)

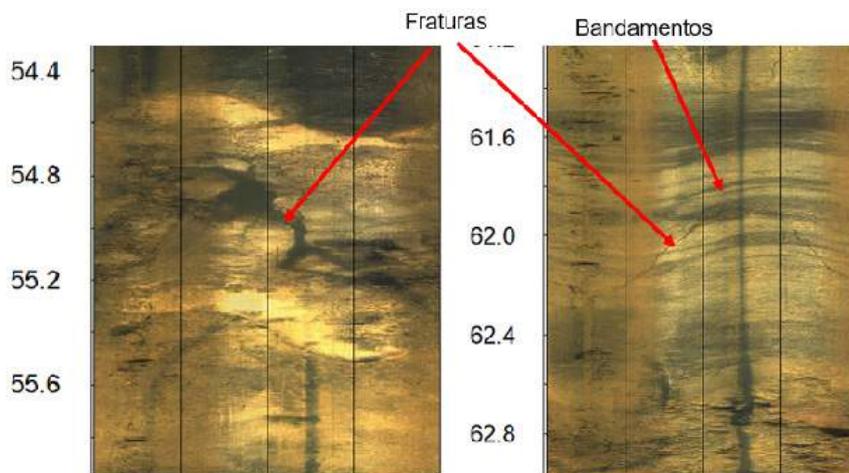


Figura 11. À esquerda, presença de fratura aberta e rugosa aos 55m de profundidade (imagem coletada na Mina Capanema – Quadrilátero Ferrífero; MG), com abertura estimada em aprox. 15cm. À direita, fratura aberta e presença de bandamento (cinza claro-escuro).

3.5 Aberturas

A distância entre as paredes de uma descontinuidade, medida no sentido ortogonal, corresponde à sua abertura. No caso do testemunho virtual, há a oportunidade de observar com detalhe a abertura da descontinuidade que, praticamente, se perde na operação de sondagem, quando da recuperação dos testemunhos. Já há recomendação do uso de equipamentos de filmagem na definição deste parâmetro pela *ISRM (1978)*.

Para *Baillet et al. (2004)*, uma das principais vantagens do *Optical Televiewer* é fornecer dados que dão um vislumbre do interior do furo de sondagem, assim se aproximando da realidade do maciço rochoso. Ao utilizar o OTV, os pontos onde se tem menor qualidade de rocha, devido à falta de uma recuperação apropriada, pela pre-

sença de solo e fraturas abertas, podem ser observados e devidamente identificados.

Para indicação da abertura de uma descontinuidade sugere-se a utilização da Tabela de abertura fornecida nos métodos de descrição e caracterização de descontinuidades da *ISRM (1978)*, conforme indicado na Tabela 3. Na Figura 12 a seguir apresentam-se exemplos de aberturas, estas apenas ocorreram no furo GSOFG00023. É possível perceber que estas aberturas são completamente ignoradas no testemunho, isso leva a crer na ocorrência de uma fratura apenas não indicando corretamente a abertura que é visível na imagem feita pelo OTV. No furo GSO00023, a descrição geológica menciona um “plano de falha na profundidade 95,9m, com marcas de degraus, fragmentando a rocha e espessura de 40cm”.

Tabela 3. Caracterização das aberturas de descontinuidades, traduzido de *ISRM 1978 (op.cit.)*.

Abertura	Descrição	
<0,1 mm	Muito apertado	
0,1 - 0,25 mm	Apertado	Feições Fechadas
0,25 - 0,50 mm	Parcialmente Aberto	
0,50 - 2,50 mm	Aberto	
2,50 - 10 mm	Moderadamente Largo	Feições semi - abertas
>10 mm	Largo	
1 - 10 cm	Muito Largo	
10 - 100 cm	Extremamente largo	Feições Abertas
> 1 m	Cavidade	



Figura 12. Esquerda: Imagem do furo GSO00023. Direita: Testemunho do furo GSOFG00023, sem condições de identificar-se os vazios vistos na imagem gerada pelo OTV (região entre 95m e 96m, assinalada em azul na caixa de testemunhos).

3.6 Preenchimento, percolação d'água e condições de alterações das paredes

A descrição das condições de alteração das paredes denota as mesmas limitações e subjetividade que a caracterização do grau de alteração da rocha. Entretanto, é possível inferir estados de alteração das paredes de discontinuidades, levando-se em consideração o brilho dos minerais o longo das feições.

No caso do preenchimento, é factível uma descrição deste material mesmo que somente visual. Aconselha-se a diferenciação, sempre que possível, de materiais que selam as fraturas, como preenchimento quartzo-feldspático, de epidoto e carbonático, daqueles que são materiais soltos, como areia, argila e fragmentos de rocha.

Também é possível observar evidências de percolação d'água, quando existente, como paredes oxidadas e a própria surgência de água no interior do furo, fator muito importante para a qualidade geotécnica de um maciço. Os dados adquiridos no presente estudo levam a crer que as aberturas (vazios) no furo GSOFG00023 (Figura 12), podem ter sido geradas por fluxo d'água. Durante a perfuração, este furo apresentou água surgente.

3.7 Grau de fraturamento

Pode-se definir de forma bem direta o que seria o grau de fraturamento, basicamente é o número de fraturas existentes na sondagem testemunhada por metro. O grau de fraturamento visa caracterizar a distribuição de discontinuidades em testemunhos de sondagem. O fraturamento pode ser expresso em graus de intensidade, conforme segue a Tabela 4.

Tabela 4. Grau de Fraturamento (IPT, 1984, apud Serra Juniro e Ojima, 1998)

Siglas	Fraturas/m	Denominações do maciço
F1	< 1	ocasionalmente fraturado
F2	1 a 5	pouco fraturado
F3	6 a 10	medianamente fraturado
F4	11 a 20	muito fraturado
F5	> 20	extremamente fraturado

Outro parâmetro essencial a ser descrito é o espaçamento, que corresponde à distância entre discontinuidades adjacentes de uma mesma família, fator que controlará o tamanho dos blocos em

um maciço rochoso. Esta distância entre descon-tinuidades de um mesmo *set* deverá ser medida ortogonalmente a estas. Na Tabela 5 apresenta-se a classificação dos espaçamentos.

Exemplos destes espaçamentos (graus de fraturamento) são vistos na Figura 13, onde aparecem espaçamentos muito pequenos (centimétricos) entre as fraturas.

Tabela 5. Classificação de espaçamento, modificado de ISRM (1978)

Descrição	Espaçamento
Espaçamento extremamente fechado	<20 mm
Espaçamento muito fechado	20 - 60 mm
Espaçamento fechado	60 - 200 mm
Espaçamento moderado	200 - 600 mm
Espaçamento amplo	600 - 2000 mm
Espaçamento muito amplo	> 2000 mm

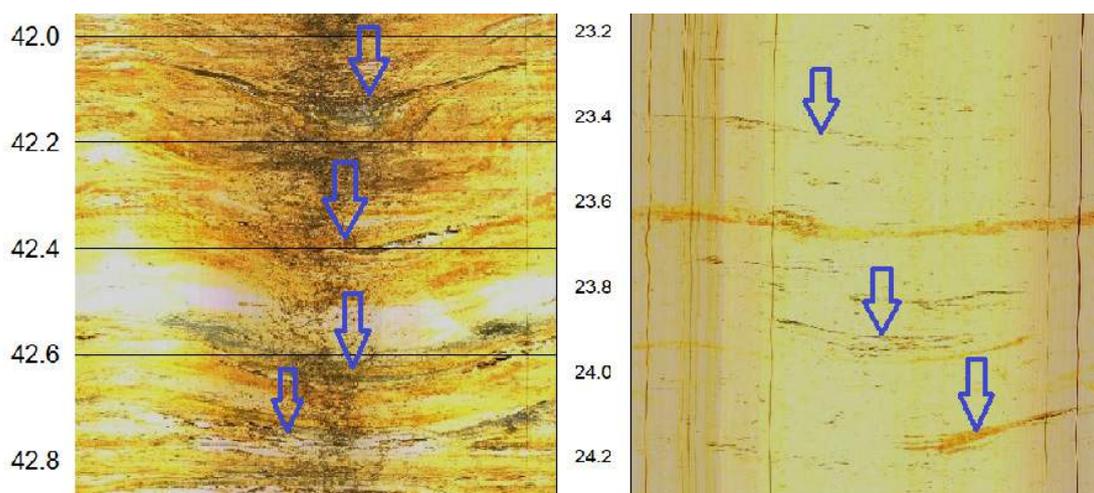


Figura 13. À esquerda, fraturas no furo GSOFG00023, com espaçamento de aproximadamente de 30cm (espaçamento moderado), apresentando assim um grau de fraturamento F2. À direita, três fraturas assinaladas no furo GSOFG00025, a inferior com uma pequena abertura.

Oliveira et al. (2014) faz referência às fraturas presentes nos furos de sondagem que não podem ser demarcadas pelos *softwares*, isso ocorre com descon-tinuidades que estão na vertical. É importante citar que, muitas vezes, ocorrem fraturas verticais a subverticais com relação à inclinação do furo televisado, onde nem sempre é possível a marcação destas na fase de interpretação de imagens. Isso ocorre, pois, os *softwares* não permitem

o fechamento de curvas senoidais extremamente abertas. Entretanto é essencial que estas feições estejam caracterizadas e façam parte dos demais parâmetros a serem descritos, como o espaçamento e o grau de fraturamento. Na Figura 14, observa-se a ocorrência de algumas fraturas verticais no furo FD00069 localizado na Mina Tamanduá. Estas fraturas não são visíveis na caixa de testemunhos.



Figura 14. No furo FD00069, observa-se a existência de uma fratura vertical, que se estende por cerca de dois metros. Esta fratura não é vista no testemunho. A seta indica, aproximadamente, a possível localização desta fratura na caixa de testemunhos.

3.8 RQD Teórico

A parte final da metodologia proposta por *Oliveira et al. (2014)* faz referência à construção de um RQD teórico a partir do testemunho virtual, tratando de forma análoga a uma *scanline*. O autor aconselha a utilização do parâmetro espaçamento médio das descontinuidades, também aconselha comparar o RQD teórico com o RQD medido no testemunho de sondagem.

Analisando o furo GSO00023, da Mina Gongo Soco, o qual apresentou artesianismo, realizou-se uma comparação entre o RQD estabelecido a partir da sondagem testemunha e o RQD derivado da filmagem com OTV, após a marcação de fraturas no software *WellCad*.

As imagens oferecidas pelo OTV nas condições apresentadas pelo furo foram consideradas de boa qualidade e os contatos mais expressivos na perfilagem geralmente podem ser visualizados com facilidade. Uma observação prática a respeito dos perfis é que quando as litologias apresentam grandes contrastes de cor (contraste claro/escuro) existe a necessidade de ajustar os diferentes intervalos em profundidade com uma combinação

de brilho e contraste específica para cada trecho, mesmo assim há muita clareza na distinção destas litologias e seus contatos, o que facilita a comparação proposta.

Alguns dos pontos analisados foram os tipos de **Descontinuidades**, a **Rugosidade** de uma fratura, com uma análise simples entre *Rugosa* ou *Lisa*, a espessura das **Aberturas** existentes.

A cada contato entre litologias, observado tanto na imagem quanto no testemunho, é calculado um RQD, até que se perceba um novo contato entre litologias. Desta forma, pode-se calcular RQD's para seções do furo, e estes variam conforme o fraturamento apresentado nestas seções. Isso se deve à visualização do material *in situ*, sem a existência de "falsas" fraturas e quebras geradas na sondagem às vezes pela fragilidade do material ou por quebra mecânica devido à atividade do equipamento de sondagem.

Na Tabela 6, são apresentadas as estruturas marcadas em parte do furo GSO00023, compreendendo bandamentos, fraturas e veios. Na Figura 15 é realizada uma comparação entre o testemunho retirado do furo e a imagem gerada por OTV.

Tabela 6. Comparação entre as estruturas marcadas com OTV e as vistas no testemunho de sondagem.

	Estruturas marcadas no OTV	Estruturas observadas nos testemunhos
Furo GSO00023 96,25m - 104,6m	11	53

A forma de relacionar as estruturas marcadas nas imagens comparando-as com o testemunho é apresentada por *Milloy et al.* (2015), que em seu artigo separa também os tipos de fraturas entre as causadas de forma natural ou de forma induzida. No presente estudo ainda não é possível realizar esta distinção, mas percebe-se um número menor

de fraturas marcadas que as passíveis de serem analisadas nos testemunhos. *Milloy* (2015), *Thomas* (2015) e *Gwynn* (2013) observam que nem sempre é aconselhável fazer uso do RQD calculado diretamente a partir da imagem gerada pelo OTV; isso se deve ao fato de que, na imagem, o maciço pode ainda não apresentar o alívio de tensões, o que é fator crucial para um maior fraturamento visto em testemunhos. Naturalmente, os testemunhos estão sujeitos também às quebras mecânicas induzidas na extração, transporte e manuseio. Assim, a rocha mostra-se em geral bem mais íntegra quando observada com OTV.

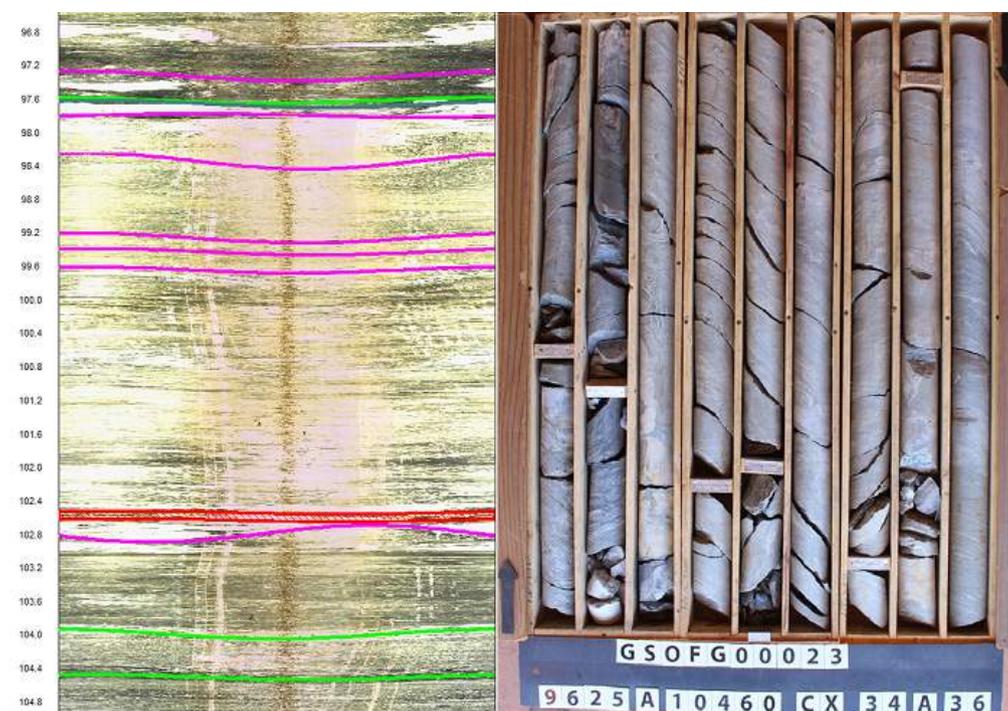


Figura 15. Seção do furo GSO00023, entre 96,25m e 104,6m de profundidade.

4 RESULTADOS

Considerando o que foi verificado em 553 metros de furos televisionados, a Tabela 7 apresenta o resultado da aplicação da proposta metodológica de Oliveira (2015) às imagens obtidas via OTV em litologias do Quadrilátero Ferrífero. Para melhor visualização destas informações, cada um

dos parâmetros considerados ao longo do tópico 3 está representado nesta tabela. Com base nos registros obtidos, conclui-se que o OTV pode fornecer importantes informações, com foco principal no posicionamento espacial (*dip e dip direction*) de discontinuidades e outras estruturas (veios, bandamentos, acamadamentos), quando estas feições são identificáveis.

Tabela 7. Resultado da aplicação da proposta metodológica de Oliveira et al. (2014) para imagens obtidas com OTV, em litologias do Quadrilátero Ferrífero.

Itens avaliados	Resultados em minério de ferro no QF
1. Rocha Intacta	Possibilidade de distinção direta entre tipos litológicos? Distinção altamente dependente dos tipos litológicos presentes e da limpeza dos furos e turbidez do fluido. Clara distinção entre materiais friáveis e compactos. Distinção visual impossível para várias litologias.
2.Descontinuidades a)Tipo de estrutura	Possibilidade de diferenciação clara entre as estruturas geológicas presentes? Bandamentos e veios são facilmente identificáveis. Contatos litológicos nem sempre visíveis, em especial quando envolvem litologias friáveis e contatos gradacionais. Como para a rocha intacta, a observação dependente da limpeza dos furos e turbidez do fluido.
2.b) Rugosidade	Possibilidade de distinção utilizando os perfis de rugosidade de Barton <i>et al.</i> (1974)? Verificou-se diferenciação apenas qualitativa entre estruturas lisas e rugosas.
2.c) Abertura	Possibilidade de uso das classificações possíveis: fechada, semiaberta e aberta ? Em geral, não foi possível. O principal foco está na comparação com o testemunho, onde a informação das aberturas é comumente perdida. Fraturas fechadas são muito difíceis de serem identificadas.
2.d) Preenchimento, percolação d'água e condições de alterações das paredes	É possível observar preenchimento, evidências de percolação d'água, quando existente, como paredes oxidadas/alteradas e a própria surgência de água no interior do furo? Não foram visualizadas aberturas preenchidas nos furos investigados. Quando presente, a percolação d'água foi de fácil identificação, como ficou evidente no furo GSOFG00023. Quanto à alteração, distinção apenas em dois níveis: A1/A2 ou A3/A4.
2.e) Grau de Fraturamento	É possível a utilização direta do Grau de Fraturamento (IPT, 1984, apud Serra Juniro e Ojima, 1998) e classificação de espaçamento, modificado de ISRM (1978)? Houve dificuldade de visualização de fraturas fechadas, levando a um grau de fraturamento errôneo. Essa dificuldade comumente ocorreu por questões operacionais (sujeira existente no furo e/ou por uma utilização de uma velocidade de televisionamento inapropriada, causando a perda de qualidade das imagens).
2.f) RQD Teórico	Possibilidade de construção de um RQD teórico a partir do testemunho virtual? É viável a obtenção de um RQD teórico com base em imagens de OTV. Entretanto, a representatividade deste RQD deve ser ponderada no caso do maciço ainda não ter sofrido o alívio de tensões, o que é fator importante para um maior fraturamento observado em testemunhos.

Como forma de ilustrar os resultados obtidos no Quadrilátero Ferrífero, os quais estão resumidos na Tabela 7, registros típicos obtidos com OTV são apresentados na Tabela 8, onde parte do furo GSO00023 foi considerada. Este trecho de 7,1 m de comprimento representa bem o comportamento médio das litologias visualizadas nos furos de sondagem. De forma sintética, pode-se dizer que o televisionamento mostrou-se bem sucedido

na identificação de *dip* e *dip direction* de descontinuidades e outras estruturas tais como veios, bandamentos e acamadamentos. Para os demais itens avaliados na Tabela 7 (rocha intacta, rugosidade de descontinuidades, abertura, etc.), alguns são apenas parcialmente distinguíveis nas imagens, enquanto outros não podem ser reconhecidos e dependem então de análise dos testemunhos para viabilizar a descrição.

Tabela 8. Aplicação dos resultados no trecho apresentado na Figura 15 (furo GSO00023).

Profundidade (m)	Rocha Intacta	Tipos de Estrutura	Descontinuidades	Dip/ Dip Direction	Rugosidade	Abertura	Preenchimento, percolação d'água e alteração das paredes	Grau de Fraturamento	RQD Teórico
97,3	Sem dispor dos testemunhos de rocha, não é possível definir-se a litologia		Fratura	50/195	Lisa	Fechada	Grau de alteração: A1/A2	Grau de fraturamento: F2	De 96,25 a 104,6: RQD = 98%
97,6		Bandamento		29/174					
97,7		Contato		39/217					
98,4		Fratura		62/204	Lisa	Fechada			
99,2		Fratura		49/203	Lisa	Fechada			
99,4		Fratura		38/212	Lisa	Fechada			
99,6		Fratura		37/195	Lisa	Fechada			
102,5		Fratura		21/233	Rugosa	Aberta	Existência de percolação de água		
102,8		Fratura		28/165	Lisa	Fechada			
104,0		Bandamento		49/179					
104,4	Bandamento		31/206						

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho procurou-se mostrar a aplicabilidade do *Optical Televiewer (OTV)*, com relação às imagens coletadas em furos de sondagem em áreas de mineração de ferro localizadas no Quadrilátero Ferrífero (MG). Nas situações analisadas (minas do Quadrilátero Ferrífero), obteve-se êxito em confirmar o *Optical Televiewer* como uma ferramenta que permite complementar as informações geológico-geotécnicas disponíveis.

Na comparação com os trabalhos de Oliveira *et al.* (2014) e Oliveira (2015), os quais foram realizados prioritariamente em rochas compactas, o presente estudo envolveu litologias friáveis e compactas, tendo tido sucesso na identificação de *dip* e *dip direction* de descontinuidades e outras estruturas tais como veios, bandamentos e acamadamentos. Para os demais itens avaliados na proposta metodológica de Oliveira *et al.* (2015), descritos na Tabela 7, alguns são apenas parcialmente distinguíveis nas imagens, enquanto outros não podem ser reconhecidos e dependem então de análise dos testemunhos para viabilizar a descrição. Uma significativa vantagem relacionada ao uso do OTV foi verificada em um dos furos da Mina Gongo Soco (Figura 12), onde as imagens mostraram uma importante descontinuidade, não

identificada nos testemunhos de sondagem devido à fragmentação das amostras.

Com relação à construção de um RQD teórico a partir do testemunho virtual, conforme a proposição de Oliveira *et al.* (2014), verificou-se que o fraturamento apresentado pelos testemunhos de sondagem é significativamente maior que o fraturamento observado nas imagens. Percebe-se que é viável a obtenção de um RQD teórico com base em imagens de OTV, entretanto a representatividade deste RQD deve ser ponderada no caso do maciço ainda não ter sofrido o alívio de tensões, o que é fator importante para um maior fraturamento observado em testemunhos.

REFERÊNCIAS

1. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABGE, **Manual de sondagens. Boletim n°3**, 5ª edição, São Paulo, 75p, 2013.
2. BAILLOT R. T., **Televisionamento 360° das Paredes de Furos de Sondagem**, Empresa Alphageos, Divulgação Técnica, 2012.
3. BAILLOT R.T., COLAS R., BARTON N., ABRAHÃO R., RIBEIRO J. A. **Comparing 360° Televising of Drill Hole Walls with Core**

- Logging.** Proc. International Site Investigation Conf, Portugal. 2004.
4. BLAKE J.R., **Application of borehole imagery in iron ore: examples from Mount Whaleback,** Western Australia. Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B), VOL 119, NO 3. 2010.
5. ANON., **Mapeamento Lito-Estrutural e Geomecânico da Mina Gongo Soco,** BVP-Engenharia, Mina Gongo Soco – VALE, Relatório Interno, Setembro/2008.
6. ANON., **Mapeamento Litoestrutural e Geomecânico,** BVP-Engenharia, Mina do Tamanduá – VALE, Relatório Interno, Nova Lima – MG, 2004.
7. ANON., **Avaliação Geotécnica da Geometria dos Taludes das Cavas Finais das Minas DIFL, Avaliação Geotécnica da Cava Final da Mina Tamanduá,** BVP – Engenharia, Relatório Interno, Outubro/2012.
8. COLLIER H, RIDDER M., **Utilization of Borehole Televiewer in Fracture Analysis,** Abilene Christian University, Welenco, Inc., 1993.
9. COSTA T., **Análise de Dados de Cargabilidade, Resistividade Elétrica e Susceptibilidade Magnética na Mina do Brucutu, MG.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 113p. . 2007.
10. FREDRICK F., NGUYEN T., SEYMOUR C., DEMPERS G., **Geotechnical data from optical and acoustic televiewer surveys.** The AusIMM Bulletin – Journal of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, n.5, October. 2014.
11. GWYNN X.P., BROWN M.C., MOHR P.J., **Combined use of Tradicional Core Logging and Televiewer Imaging for Pratical Geotechnical data Collection,** SRK Consulting (UK) LTD, United Kingdom, September 2013.
12. INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS – ISRM. **Suggested methods for the quantitative description of rock masses.** *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics abstracts*, vol 15, n6, p319-368, 1978.
13. MILLOY, SOPHIE F., McLEAN K. e McNAMARA D.D., **Comparing Borehole Televiewer Logs with Continuous Core: An Example from New Zealand,** Proceedings World Geothermal Congress, Australia, 2015.
14. OLIVEIRA D.G.G., **Televisionamento óptico de sondagens – proposta metodológica para execução e suas aplicações em obras subterrâneas, Dissertação de Mestrado- IGc/USP,** São Paulo, 2015.
15. OLIVEIRA D. G. G., MONTEIRO M. D., MASSONI F., ROCHA H. C., **Televisionamento de Furos de Sondagens nos Estudos do Metrô de São Paulo – Proposta Metodológica para Execução e Análise,** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental, Brasil, 2014.
16. OLIVEIRA D.G.G., MONTEIRO M.D., ROCHA H. C., TAIOLI F., FACURI G. G., NASCIMENTO A. L., **Aplicação do Televisionamento de Sondagens em Fase de Projeto Básico do Metrô de São Paulo,** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental, Brasil, Vol.5, n.2, 2015.
17. THOMAS R.D.H., NEILSEN J.M., WILSON H.F., LAMB P., **Structural Interpretation from Televiewers Surveys,** Australian Centre for Geomechanics, Perth, Australia, 2015.



ECOSSISTEMA URBANO E A GEOLOGIA DE ENGENHARIA

URBAN ECOSYSTEM AND ENGINEERING GEOLOGY

CARLOS GERALDO LUZ DE FREITAS

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil. cege@ipt.br

THAIZ LIMA DE OLIVEIRA

USP Universidade de São Paulo, Graduanda em Geologia do Instituto de Geociências, São Paulo-SP, Brasil. thaiz.oliveira@usp.br

RESUMO ABSTRACT

Toda atividade antrópica resulta em modificações do meio ambiente. Propõe-se, nesse artigo, considerar a ecologia da cidade utilizando-se do recurso disponível na composição do ecossistema urbano, interagindo o homem com o meio natural, biótico e abiótico, e suas alterações ambientais singularizada nas trocas de energia. Buscando-se a inovação tecnológica para a elaboração de um Plano Diretor Municipal, apresenta-se, resumidamente, o uso desse procedimento no planejamento do município de Rio Grande da Serra e seu resultado na proposta de gestão territorial.

Palavras-chave: ecossistema urbano; planejamento; biodiversidade.

All anthropic activity results in modifications in the environment. In this article, it's proposed considering the ecology of the city using available resource in the urban ecosystem composition, thinking of the interacting between man, natural environment, biotic and abiotic and environmental changes avowed in energy exchanges. Seeking in technological innovation for a Municipal Director Plan elaboration, it's briefly presented the use of this procedure at the municipally of Rio Grande da Serra planning and its result in the territorial management proposal.

Keywords: urban ecosystem; planning; biodiversity.

1 INTRODUÇÃO

Quando o botânico inglês Arthur G. Tansley (1939) conceituou ecossistemas como complexos ecológicos interdependentes, durante sua pesquisa de fluxos de matéria e energia em sistemas naturais, visou explicar a complexa relação de um conjunto de espécies e a comunidade onde vivem. Sua abordagem posterior como ecossistema urbano teve a confluência de uma série de premissas de diferenciados ramos do saber científico

conforme cada desenvolvimento epistemológico inerente às suas várias vertentes de aprendizagem, em trajetórias evolutivas intrínsecas de seu conhecimento.

2 BREVE HISTÓRICO

A Biologia, com seu escopo pioneiro nos estudos unificados dos seres vivos e sua inter-relação com o meio, no tempo e no espaço, foi o cerne

referencial na abordagem do ecossistema, todavia reportada e modificada na sua inclusão por outros núcleos das ciências, incluindo a própria Biologia.

Em momentos concomitantes à contextualização inicial de ecossistema natural, a aproximação dos aspectos ambientais pela Geologia resultou, em sua essência, das atividades de Geologia de Engenharia. Nessa direção, pode-se ilustrar sua expansão em atuações de processos do meio físico agregando questões de biodiversidade e seus processos ecológicos, do qual o homem faz parte (Figura 1). Essa perspectiva desdobrou-se de avaliações de degradação gerada no avanço da ocupação do solo, tendo por consequência a intensificação de seu saber expandindo sua análise, para transpor desafios em soluções aplicadas desde o aproveitamento dos recursos naturais solicitados, até o planejamento para o uso adequado da terra.



Figura 1. Ocupação junto à várzea, no município de Rio Grande da Serra, SP, com problemas de inundação e contaminação das drenagens. Foto: Carlos G.L. de Freitas (2018).

A dinâmica desse ramo da Geologia, de acordo com Freitas (2000), apresentou reflexos manifestos de meio ambiente a partir do início do século XX, quando se criaram, em 1929, a disciplina de Geologia de Engenharia no Instituto de Minas de Leningrado (atualmente São Petersburgo) e, em 1931, no Instituto de Pesquisa Geológica de Moscou. Acompanhando essa tendência mundial de interação ambiental, em 1964 instituiu-se uma sociedade científica na Europa, *International Association of Engineering Geology (IAEG)*, a qual,

em 1982, alterou seus princípios básicos explícitos nos estatutos. Demandando a influência mútua com o meio ambiente, acrescentou o termo *Environment* na sua denominação. Em 1999, no Brasil, a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) procedeu da mesma maneira, adicionando o termo *meio ambiente* em seu nome. A importância de aspectos ambientais acarretou em inovações de métodos e procedimentos para suas atividades, englobando abordagens com designação geoambiental.

Nesse mesmo período, com a apreensão existente das implicações visíveis das intervenções antrópicas no ambiente, convergiram-se encaminhamentos tais como o Desenvolvimento Sustentável e Agenda 21, dentre outros acordos e protocolos internacionais, junto a um afluxo de diversos casos de áreas de ciência aplicada que tiveram cuidados buscando superar essas ameaças.

Em tal conjuntura, processos semelhantes de gestão ambiental podem ser verificados, a título de exemplo, em diligências mostradas nos estudos de Arquitetura e Paisagismo, relacionados às construções e ações humanas em diferentes ambientes. Igualmente, a Geografia apontou a preocupação de estruturar as combinações ecológicas na condição de um sistema organizado e tratado em contornos mais bem definidos com o enfoque de paisagem ou geossistema, representando arranjos ecológicos em distintos contextos do relevo vinculados, tanto à ecodinâmica morfológica, como aos estágios de interferência humana de cada região.

Assim, seja qual for o procedimento metodológico das áreas do conhecimento, sempre vinha acompanhado, a seu modo, por outras reivindicações, nos quais cada vez mais se fazia necessário contemplar a ocupação de tal forma que permitisse a participação do homem nesse sistema. Em conformidade com o crescimento acelerado dos ambientes urbanos, harmonizavam-se esforços internacionais de maneira que se constituísse mais uma ferramenta facilitadora na demanda por políticas públicas apropriadas e proposições de soluções em questões de biodiversidade (Figura 2), onde as cidades passaram a ser observadas com a perspectiva de ecossistema.

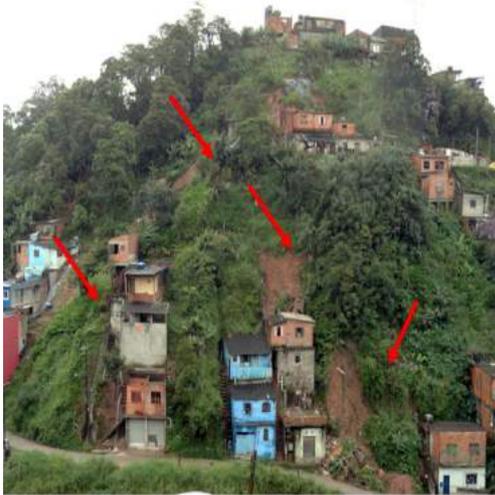


Figura 2. Ocupação de população de baixa renda, em situações de risco, com desmatamento e cortes em taludes com declividade acentuada e concentração da drenagem superficial, no município de Rio Grande da Serra, SP. Fonte: Arquivo IPT.

Dando amplitude a essa qualificação, atribuiu-se, então, a expressão de ecossistema urbano, dentro de um desafio no qual se absorvia o homem como parte da biodiversidade local e as cidades como fenômenos ecológicos em uma interação com os outros organismos considerados ecossistemas naturais.

3 CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS E METODOLÓGICAS

Sem pretender aprofundar na semiótica de ecossistema urbano, para designar os preceitos de seu significado, em sua contextualização levaram-se em conta que a cidade estrutura também um sistema de relações dos seres vivos entre si e com o ambiente em que vivem, onde se constitui um espaço físico abiótico (habitat) reunindo componentes bióticos interdependentes. Formam uma dinâmica socioeconômica com seu balanço energético e de matéria, no qual se faz obrigatório trazer água, energia, matéria-prima, entre outros recursos, para permitir a subsistência em suas atividades.

Para alguns profissionais, constituiria um metassistema criando um novo estado de equilíbrio deletério à ecologia pela resultante sua prática em obras como construção civil, desempenhos industriais, execução de cortes e aterros, com

distribuição de produtos manufaturados e despojos de lixos, entulhos e rejeitos inúteis decorrentes dos processos produtivos. Entretanto, sua qualificação proposta de ecossistema urbano tem assumido maiores aceitações para uma consonância monitorada.

Nas áreas verdes de parques, matas ciliares, jardins e arborização de arranjos viários, sua análise urbanística é indispensável para um ambiente da cidade, no bem-estar da população, amainando o calor e a poluição do ar e de ruídos, além de ocupar espaços em lugares livres contrapondo com a impermeabilização e inundação. Extrapolando também para florestas locais ou periféricas em concentrações de intervenções de povoados menores, a conservação da área vai além da tentativa de ações controversas de manter a vegetação intocável, mas dá sequência pelo seu uso e aproveitamento bem organizado por meio de medidas voltadas a disposições variadas.

Em termos gerais, podem-se delinear alguns pontos importantes nem sempre ponderados.

A princípio, um aspecto conceitual básico é que a equivalência de um complexo ecológico não encerra um ciclo fechado. Podendo representar várias composições interagindo ecossistemas menores que também se intercomunicam, sua leitura específica compõe um dos pontos importantes no planejamento de uma região.

Nesse encadeamento, instituem-se associações que se manifestam em um processo cuja assimilação envolve constante transformação das condições e coexistências derivadas do homem em meio às comunidades de fauna e flora. Tal integração estrutura um conjunto de componentes, bióticos e abióticos, condicionando a dinâmica particular de cada ecossistema urbano delineado.

Outra concepção essencial, no mesmo sentido, é relativa à apreciação dos componentes de consolidação contínua da cidade, com atenção, também, em sua inovação vinculada ao aperfeiçoamento tecnológico e arcabouços culturais, os quais respaldam a organização de serviços básicos de uma sociedade para satisfazer suas carências naturais ou impostas. Nesse cenário, sobressai, além do mais, a interpretação de que os fatores bióticos refletem sempre as condições decorrentes dos integrantes abióticos presentes, quais sejam os elementos físicos e químicos (Figura 3).



Figura 3. Sistema viário expondo fatores bióticos (vegetação local interagindo com reflorestamento) e componentes abióticos físicos e químicos alterados presentes (solo, relevo e liberação de gases provenientes do veículo). Foto: Thaiz L. de Oliveira (2018).

Têm-se, dentre outros constituintes associados:

- Tipos de solo;
- Procedências de massas d'água como rios, lagoas, barragens, oceanos;
- Padrões de relevo e variações topográficas de altitude do terreno (hipsometria) e profundidade dos corpos hídricos (batimetria);
- Composição e saturação de oxigênio do ar;
- Possibilidades climáticas abrangendo variações de temperatura, pressão atmosférica, ventos, radiação solar, pluviometria e umidade do ambiente.

No entanto, nessa conformação conceitual identificada, faz-se primordial avançar os estudos que estimulem a busca de uma nova síntese de cada ecossistema urbano, enfrentando o desafio de pensar quais medidas e ações devem-se assumir na elaboração do planejamento peculiar de um município (Figura 4). Implica no debate de interpelações, tais como as que suscitam verificação do modo em que as espécies introduzidas na cidade estão se justapondo com a fauna e a flora nativa.

Nesse quadro, podem-se englobar, ademais, performances como os agrossistemas, representados por espaços reservados às atividades agropecuárias locais e todo o conjunto de operações de sua cadeia produtiva, desde beneficiamento e manipulação industrial até a venda dos produtos.



Figura 4. Implantação de Parque Ecológico em antiga área com resíduos, no contexto de ações decorrentes da elaboração do planejamento do município de Rio Grande da Serra, SP. Foto: Carlos G.L. de Freitas (2018).

Outro procedimento que impõe avanço envolve o diagnóstico de condições diversas com necessidade de melhor ajuste e proposição, na qualidade de:

- Zonas em processo de consolidação urbana;
- Implantações de vegetação em áreas inaptas à ocupação e em extensões públicas de parques, praças, faixas do sistema viário;
- Áreas de cobertura vegetal expressiva reservada como núcleos de otimização de atividades produtivas;
- Cultivo e paisagismo, que permitem conduzir à promoção de espécies desejáveis e remoção das indesejáveis, tornando-se essencial uma visão holística dos tipos de terra e do seu manejo, distinguindo espécies nativas de introduzidas;
- Entendimento de como o clima e poluição urbanos determinam quais espécies vegetais persistem, verificando se as espécies introduzidas realmente provocaram homogeneização biótica urbana.

4 APLICAÇÃO

Esse enfoque de ecossistema urbano constitui um novo procedimento tecnológico de planejamento, podendo ser aplicado com bons resultados, por exemplo, em Planos Diretores Municipais (PDMs). Foi o caso da proposta do município de Rio Grande da Serra (Figura 5), submetido à legislação da área de proteção de mananciais Billings (APRM-B).

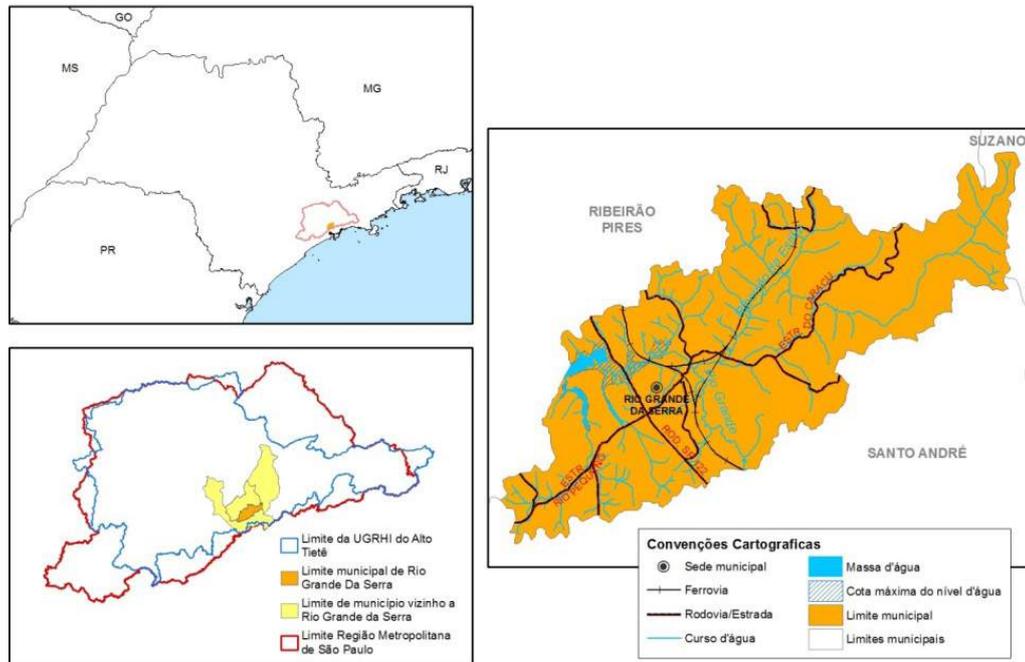


Figura 5. Localização e acesso ao município de Rio Grande da Serra, SP. Elaboração IPT.

Em tais circunstâncias, ganhou importância trabalhar a linha para o planejamento de conformação socioambiental do ecossistema urbano do Município, visto que o incremento desse tema viabiliza acrescentar novas medidas e ações adequadas de convivência harmoniosa em sua espacialização territorial. Por conseguinte, foram recomendadas diretrizes que se adotassem avaliações de ecossistema urbano, estruturando a integração do homem e da cidade, em condições dependentes do propósito de abordagem de biodiversidade estabelecida em seu macrozoneamento.

Para a delimitação do solo, dentre os aspectos definidos tem-se as deliberações e ressalvas de leis com restrições à expansão urbana e o uso atual do solo e sua tendência de evolução. Levaram-se em conta o processo histórico de sua estruturação e desenvolvimento, que incluem as diferentes atividades, transformações, produção e reprodução da sociedade no espaço geográfico.

O município de Rio Grande da Serra apresenta-se como área urbana em toda sua abrangência, cuja subdivisão corresponde a:

- *Zona de Consolidação Estabelecida* – área de ocupação em geral consolidada (com vazios

urbanos eventuais) já em processo significativo de adensamento e com expansão em locais contíguos ao consolidado.

É dotada total ou parcialmente de infraestrutura, incluindo saneamento, equipamentos comunitários e serviços urbanos. Diretrizes gerais foram sugeridas pretendendo tratar mais acertadamente as extensões verdes de parques, matas ciliares, jardins e arborização de arranjos viários, que são indispensáveis para um ambiente urbano.

- *Zona de Expansão Controlada* – área cuja análise dos vetores de crescimento da cidade forneceu indícios de viabilidade parcial tanto de adensamento quanto de expansão.

As diretrizes gerais propostas visaram à indução de assentamentos futuros, conforme os requisitos ambientais de não comprometimento da qualidade das águas, em concordância com a área de proteção de mananciais Billings. Neste sentido, indicaram-se condições mais amplas relacionadas aos espaços verdes do que na zona anterior, aproveitando a existência ou modificação de terrenos vazios com maiores dimensões (Figura 6).



Figura 6. Proposta de Parque Municipal junto à antiga pedreira, em Zona de Expansão Controlada. Foto: Thaiz L. de Oliveira (2018).

- *Zona de Ocupação Dirigida* – área com ocupação restrita já instalada, basicamente, por chácaras de lazer e condomínios isolados, com núcleos significativos de matas que provêm cobertura vegetal de interesse pela sua biodiversidade.

Suas diretrizes seguiram determinações legais da APRM-B, fundamentada em ordenamentos de contribuição na proteção e recuperação da vegetação. Envolve, assim, organizações *sui generis* de apropriação da terra, que constituem formas de utilização de acordo com suas características geoambientais próprias e, portanto, diretrizes e normas peculiares para cada padrão de uso e do solo adequado (Figura 7).



Figura 7. Chácaras de lazer em Zona de Ocupação Dirigida, com interação socioeconômica de turismo, mantendo baixa densidade habitacional, rodeada por vegetação do Bioma Mata Atlântica de Zona de Conservação Integral. Foto: Thaiz L. de Oliveira (2018).

A manutenção de baixa densidade habitacional condiciona, em legislação urbanística específica posterior à aprovação do PDM, que se estabeleçam limites de tamanho em construções de condomínios horizontais, cujos **lotes não poderão ser subdivididos para venda ou utilização.**

Há perspectivas de interação socioeconômica local adequada, valendo-se de possibilidades de exploração de recursos da natureza, tais como extrativismo vegetal reduzido, exploração de águas minerais, agropecuária familiar gerando pequenas agroindústrias, e serviços turísticos.

Compõem, portanto, ocupação com emprego racional de produtos potencialmente renováveis, incrementando atividades econômicas compatíveis com a proteção ambiental, agregando valor ao produto, incluindo a infraestrutura para o ecoturismo.

O extrativismo baseado na tecnologia e no manejo resulta em aumento de produtividade e de renda, ao mesmo tempo em que garante a regeneração e proteção da natureza. São atividades consideradas essenciais pela manutenção da sociobiodiversidade, provendo serviços ambientais e gerando oportunidades de negócios.

- *Zona de conservação integral* – área de salvaguarda da vegetação do Bioma Mata Atlântica e ao longo das margens da represa Billings e de drenagens naturais, de interesse da biodiversidade, eficaz à prevenção do solo e dos recursos hídricos, conforme legislação atual da APRM-B.

Consiste nas melhores condições de proteção do solo e da água no município de Rio Grande da Serra, em equilíbrio voltado às atribuições de proteção dos recursos dos mananciais, cuja inter-relação do ecossistema possibilita o deslocamento e disseminação de fauna e flora, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de regiões degradadas. Permite visitação sem a exploração econômica direta no local, para pesquisas científicas, desenvolvimento de atividades de trilhas na mata, com perspectivas visuais e de sua diversidade ecológica, em um processo didático vinculando o contato com a natureza

e a educação ambiental, evoluindo para um espaço contrabalançado em sua comunidade biológica de arranjo complexo. Tem como foco a interação dos processos ambientais, do meio físico (deslizamento, erosão, inundação, enxurrada e alagamento) e do meio biótico (danos à fauna e à flora), com alterações eventualmente provocadas pelo meio antrópico durante visitas locais.

5 CONCLUSÕES

Essa abordagem de ecossistema urbano é relativamente recente e com estudos e propostas em contínua evolução, cujas peculiaridades extensivas e complexas precisam ser ponderadas para ultrapassar inúmeras dificuldades que dependem de soluções distintas. Apesar de as cidades salientarem uma diversidade expressiva no conjunto de sua ação com todas as ocorrências ecológicas locais e de contorno, esse contexto de habitat urbano é apenas considerado excepcionalmente na adoção de políticas municipais.

A implantação efetiva proposta no planejamento precisa partir de elaboração de normas mais detalhadas na forma de documento legal da ocupação do solo, baseada no PDM aprovado pela Câmara do município de Rio Grande da Serra que, conforme estabelecido pelo Estatuto da Cidade, deverão ser consubstanciadas com parâmetros variáveis e mais pormenorizados. Para tanto, sua concretização na forma de documento legal e, posteriormente, sua implantação, exigirão trabalhos de essencial convergência de diferentes domínios do conhecimento, sobretudo profissionais de biologia, além da arquitetura, geologia, sociologia, geografia física e humana, dentre outros, dependendo das características do Município.

Ainda, é fundamental a conscientização e participação da população em trabalhos de observações e monitoramento da biodiversidade estabelecida, auxiliando na composição de dados analíticos e na tomada de decisões.

BIBLIOGRAFIA

- ADLER, F. R.; TANNER, C. J. Ecosistemas urbanos: princípios ecológicos para o ambiente construído. Tradução Maria Beatriz de Medina. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 384 p.
- BITAR, O. Y. Meio ambiente & geologia. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2004. 161 p. (Série Meio Ambiente; 3. Coordenação José Ávila Aguiar Coimbra).
- BRANCO, S. M. Meio ambiente & biologia. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2001. 163 p. (Série Meio Ambiente; 1).
- BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Estatuto da Cidade. Diário Oficial da União, Brasília, 11 jul. 2001.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 dez. 2006.
- COBRAPE - COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. Elaboração e Revisão dos Planos de Desenvolvimento e Proteção Ambiental das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRMs) da Região Metropolitana de São Paulo: PDPA Billings - Rio Grande da Serra. Projeto PDPAs RMSP. São Paulo: Cobrape, 2018.
- FORNASARI FILHO, N. (Coord.) et al. Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo: IPT, 1992. (Publicação IPT, 1.972).
- FREITAS, C. G. L. de. Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica. 2000. 238 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- FREITAS, C. G. L. de (Coord.) et al. Planos diretores municipais: integração regional estratégica - roteiro metodológico. Porto Alegre: IPT, 2007. (Coleção Habitar, 7).
- FREITAS, C. G. I. de; IKEMATSU, P.; AZEVEDO, S. G. de. Plano Diretor: a importância da

abordagem geoambiental na condução do destino das cidades. In: ROSIN, J. A. R. de G.; OLIVEIRA, C. M. de. (Org.). Estatuto da Cidade: avanços e desafios. Tupã: Edit. ANAP, 2017. 218 p. il.

IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. Engineering geological maps: a guide to their preparation. Paris: UNESCO Press, 1976. 79 p.

JACOBI, C. M. O sistema urbano é um ecossistema? Minas Gerais: Biosfera Consultoria Ambiental, s.d. Disponível em: <<http://www.biosferamg.com.br/artigo/bases-ecologicas-para-o-desenvolvimento-sustentavel-ecologia-urbana/>>. Acesso: 31/08/2018.

PADOAN, L. de L. F. Ecossistemas urbanos: uma perspectiva analítica das cidades. In: CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO (CONVIBRA) - ADMINISTRAÇÃO, XI, 2014. Disponível em: <http://www.convibra.com.br/upload/paper/2014/28/2014_28_9380.pdf>. Acesso: 31/08/2018.

SANTOS, V. S. dos. O que é ecossistema? Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/biologia/o-que-e-ecossistema.htm>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

SERGEEV, Y. E. M. A history of development and state-of-the-art of Engineering Geology. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 4., 1982. New Delhi. Proceedings... Rotterdam: A.A. Balkema, 1982. v. 8. p.343-348.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais. Brasília, 2014, 68 p. il.

TANSLEY, Arthur George. British ecology during the past quartercentury: The Plant Community and the Ecosystem. The Journal of Ecology, v. 27, n. 2, p. 513, 1939.

VEIGA, J. E. da. Meio ambiente & desenvolvimento. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2006. 180 p. (Série Meio Ambiente; 5. Coordenação José Ávila Aguiar Coimbra).

MAXIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE PILARES NO MÉTODO DE LAVRA SUBLEVEL STOPING

MAXIMIZING PILLAR LAYOUT IN SUBLEVEL STOPING MINING METHOD

GUSTAVO ANTONIO PEREIRA BATISTA

Engenheiro Geotécnico, Perth, Austrália. GAPBatista@gmail.com

ANDRÉ PACHECO DE ASSIS

Professor Dr. na Universidade de Brasília – UNB, Brasília, Brasil. AAssis@unb.br

KOBUS DU PLOOY

Engenheiro Geotécnico, AngloGold Ashanti, Perth, Austrália. KDPlooy@anglogoldashanti.com

JAIRO HENRIQUE DA SILVA

Geólogo, AngloGold Ashanti, Crixás, Brasil. JHSilva@anglogoldashanti.com.br

JOÃO EDUARDO FOCHI RAMIRES

Geólogo, AngloGold Ashanti, Crixás, Brasil. JESilva@anglogoldashanti.com.br

RESUMO ABSTRACT

Os impactos da diluição não planejada em uma mina subterrânea de veio estreito são muito significantes, além de acarretar elevação do custo e redução do teor médio, esse impacto pode causar *déficits* financeiros, inviabilizando a operação. Várias alternativas foram criadas para determinar a diluição de uma área planejada, entre elas existem métodos empíricos, métodos por regressão linear e métodos numéricos. Todas essas técnicas devem estar alinhadas com as observações e resultados reais de instabilidade. Desta forma é apresentado casos de instabilidade no método de lavra *sublevel stoping* a 750 m de profundidade e os impactos da diluição, quantificado-os e determinando os fatores que as ocasionaram. Baseado nas evidências foi proposto um novo *design* de lavra modificando os pilares com o intuito de reduzir a diluição não planejada e aumentar a produtividade. Quatro exemplos com o novo *layout*, a uma profundidade de 800 m, foram analisados tornando possível determinar as condições de instabilidade da região de lavra, quantificar a diluição não planejada e comparar os resultados do *layout* antigo, além de demonstrar os ganhos na performance operacional e na redução da diluição.

Palavras-chave: Diluição não planejada, Reconciliação da lavra, Veio Estreito, Desempenho de diluição do *stope*.

The impacts of unplanned ore dilution in a narrow vein underground mine are very significant, in addition to cost and reduction of the average content, this impact can cause financial deficits making the operation unfeasible. Some alternatives have been created to determine the dilution of a planned area, among them there are empirical methods, methods by linear regression and numerical methods. All of these techniques must be in line with the actual instability observations and results. In this way, cases of instability are presented in the mining method *sublevel* at 750 m depth and the impacts of the dilution, quantified and determining the factors that caused it. Based on the evidence, a new mining design has been implemented in order to reduce unplanned dilution and increase productivity. Four cases the new layout at a depth of 850 m were analyzed, turning possible the determination of the instability conditions of the *stopping* areas, quantifying the unplanned dilution, comparing the results with the old layout ones, beyond the demonstration of gains in the operational performance, and decreasing the dilution levels.

Keywords: Unplanned dilution, Stope reconciliation, Narrow vein, Stope dilution performance.

1 INTRODUÇÃO

Representante de cerca de 4,4% da produção total de ouro do Brasil e a maior extratora de ouro no estado de Goiás, a Mineração Serra Grande (MSG) pertencente a AngloGold Ashanti (AGA) está localizada a Noroeste do estado de Goiás e a Sul da cidade de Crixás - GO, com operações subterrâneas e a céu aberto. A cidade de Crixás fica localizada a 320 km da capital do estado de Goiás e a 400 km da Capital Federal.

Uma forma de avaliar a qualidade do método de lavra é realizar a análise de aderência entre a diluição esperada e a observada nas áreas lavradas, identificando as regiões com alta e baixa aderência. A diluição na mineração é definida como a contaminação do minério com rocha estéril, provocando uma redução do teor da substância útil no minério lavrado. Na lavra subterrânea, ela pode ser dividida em diluição planejada, interna ou primária, e diluição não planejada, externa operacional ou secundária, conforme Charbel, (2015). A diluição não planejada ou operacional consiste no estéril que se posiciona além dos limites do realce planejado, sendo retratada no artigo apenas como diluição.

Costa (2017) definiu por meio de um diagrama as principais causas de uma diluição elevada, entre elas o autor cita: o desenvolvimento das galerias com a exposição do minério; projetos de perfuração para a distribuição da carga de explosivos; treinamento de operadores e verificação de equipamentos; carga máxima por espera na etapa de desmonte; método de dimensionamento do suporte; método para dimensionamento dos vãos dos realces de lavra; e verificação do controle de qualidade do sistema de suporte.

Sendo assim, a alta diluição operacional pode ser proveniente de baixa previsibilidade destes fatores na avaliação econômica dos realces e, desta forma, um valor de diluição variável, a depender das suas características, aumenta a assertividade desta etapa.

Nas últimas décadas, a indústria mineral subterrânea vem adotando estratégias na recuperação do bem mineral em larga escala, métodos esses que propiciam aberturas de grandes dimensões em subsolo. No Canadá, o método *Open Stope* foi responsável por cerca de 90% da produção

em tonelagem de minério recuperado de minas de metais, segundo Potvin (1998). A popularidade desse método pode ser justificada pelo grande nível de produção, assim como a possibilidade de estabelecer alto nível de mecanização ao processo, melhorando assim sua produtividade.

Para se estimar a estabilidade dos realces, usualmente é adotado o método do gráfico de estabilidade, porém esse método pode ter uma baixa confiabilidade para prever o valor de diluição em realces estreitos, uma vez que não leva em consideração esta característica. Este método, inicialmente proposto por Mathews *et al.* (1981), era restrito a minas com profundidade abaixo de 1.000 m. Os bancos de dados utilizados no gráfico de estabilidade proposto por Mathews *et al.* (1981) e no gráfico de estabilidade modificada por Potvin (1988) continham poucos casos de realces estreitos, o que tornava necessário uma revisão das áreas de estabilidade para cada empreendimento. Da Silva (2018) descreve como esses métodos podem ser empregados em um ambiente de mineração, realizando as modificações necessárias a partir do banco de dados local.

A Mineração Serra Grande, terceira maior produtora de ouro do Brasil, contempla 20% de diluição não planejada no seu plano de lavra. Com desenvolvimento das análises geotécnicas, o potencial de redução é significativo, sendo que, a redução de um ponto percentual representa redução de US\$310.000,00 por ano, apenas com custo de transporte e beneficiamento metalúrgico para a MSG. Assim, os projetos de geotécnica devem compreender a estabilidade dos realces de lavra, visando a segurança e o custo envolvido no processo.

A comparação com o comportamento real é a única maneira de confirmar a eficácia de qualquer método de estabilidade. Usando técnicas baseadas em evidências, as percepções das causas de instabilidade facilmente podem ser notadas e novos *layouts* podem ser propostos baseados nas compreensões das áreas instáveis.

2 OBJETIVO

A prática de simular cenários diferentes para melhorar a relação econômica do ativo deve ser uma prática essencial ao geotécnico. Com esse objetivo, será demonstrado como o *layout* de

pilares determina a performance na lavra no método *sublevel stoping* da Mineração Serra Grande, comparando-se os resultados da diluição por meio da aderência do planejado com o executado de dois *layouts* de pilares distintos, determinando as estruturas que condicionam a instabilidade e quantificando as perdas envolvendo a ineficiência de cada *layout*.

3 METODOLOGIA

A metodologia baseia-se na reconciliação de duas áreas de lavra com *layout* distintos de pilares, a partir da comparação da escavação realizada com a escavação planejada, a fim de identificar a influência das discontinuidades em seu resultado final. Normalmente, quando o desempenho de uma lavra é condicionado por qualquer sistema de fraturas, essas estruturas limitam as superfícies da escavação. Como o mapeamento estrutural é realizado em todas as escavações da MSG, é possível verificar se alguma dessas estruturas está condicionando a instabilidade.

O *software* Gem4D da BasRock foi usado para executar a reconciliação. Este *software* permite fazer comparações entre dois sólidos diferentes medindo a distância real entre eles. Também é possível verificar se existe uma orientação preferencial dos triângulos a partir do modelo de sólidos, o que auxilia na identificação de possíveis estruturas que não foram observadas durante o mapeamento. Da Silva (2019) descreve como o *software* pode contribuir para a interpretação geotécnica nos realces e conseqüentemente na identificação das estruturas que condicionam a instabilidade.

Para exemplificar a metodologia, a Figura 1 contém cenas que foram capturadas com *scanner* topográfico da evolução de uma lavra no método *sublevel stoping*, verificando a face lavrada e ressaltando a diluição com o planejado em cinza. Com os dados é possível identificar o vão que ocorre instabilidade, determinar as estruturas que condicionam instabilidade e quantificar a massa lavrada e a diluição.

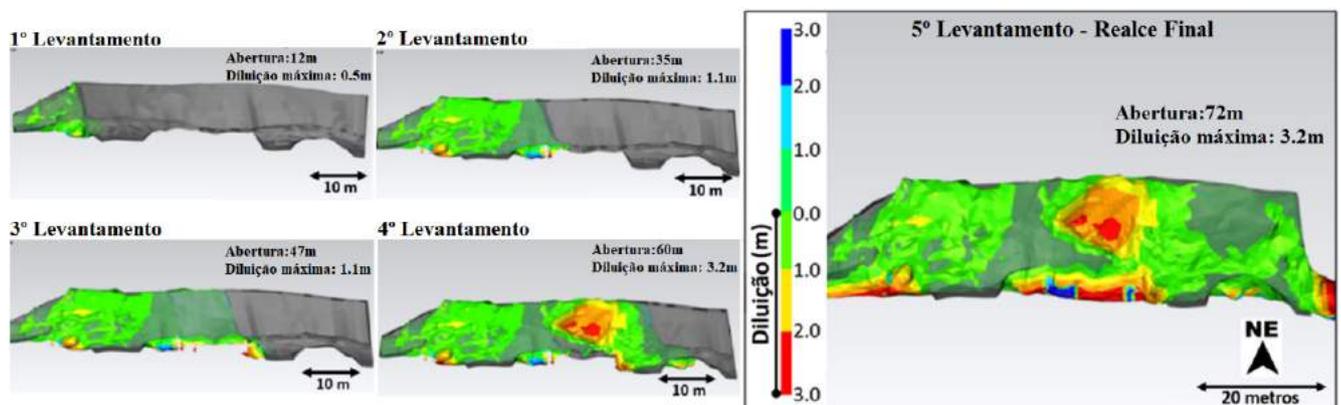


Figura 1. Evolução da lavra no método *sublevel stoping* destacando a diluição com o avanço da lavra.

É possível interpretar que a área planejada de lavra com 72 m de comprimento manteve-se estável até o levantamento topográfico com abertura de 47 m, sua estabilidade é representada pela cor verde com a distância da face planejada com escavada inferior a um metro. Da cena de 47 m para 60 m ocorreu uma diluição no *hangingwall* (HW), representado pelas cores quentes com distância de até três metros da face planejada. Por fim, a lavra

prosseguiu até os 72 m ocorrendo diluição localizada no realce lavrado.

De forma a entender a geometria da instabilidade, foi possível visualizar três estruturas que condicionaram a quebra, sendo determinadas pela foliação e duas juntas, ocasionando diluição de até 3.2 m, conforme Figura 2 na seção B. Na seção A da mesma imagem a diluição é controlada por desvios de perfuração ou carregamento excessivo.

sivo de explosivo, já que a geometria é bastante irregular. Devido principalmente a instabilidade pontual, a diluição do realce lavrado constituiu em 29.2%, representando uma massa de 2.366 to-

neladas não planejadas. As duas juntas foram mapeadas por suas referências na superfície da escavação, determinando suas orientações conforme mostrado na Figura 2.

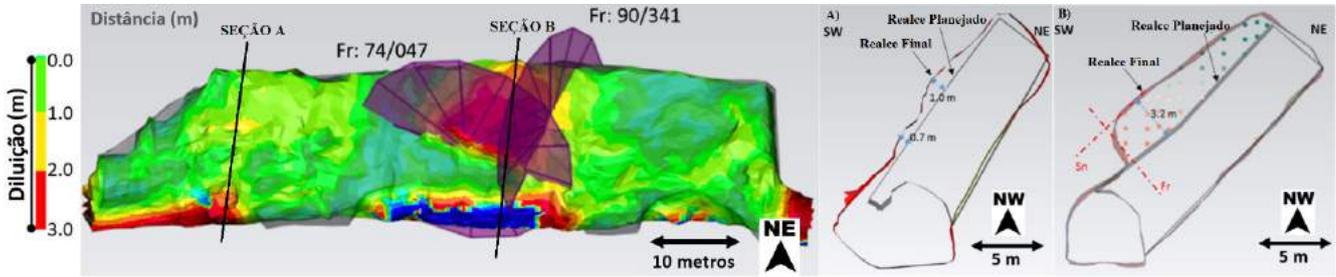


Figura 2. Seções no realce lavrado exemplificando na Seção A diluição baixa, aderente a lavra e na Seção B diluição controlada estruturalmente com as fraturas identificadas na região de maior instabilidade.

Com intuito de maximiar o layout e extrair a maior quantidade de conteúdo metálico do depósito, dois layouts são sugeridos para lavra da Mina 3 da MSG. A proposta de lavra baseia no método *Sublevel Stopping* que tem sido amplamente utilizado nesta empresa, contribuindo atualmente com mais de 80% da produção planejada. A variação do método sugere dois layouts distintos (Figura 3), sendo: A) *Layout* clássico do *sublevel*, lavra com conexão de interníveis, posicionando estra-

tegicamente *rib pillars*, com grandes aberturas ao longo do mergulho do minério com possibilidade de enchimento com *rockfill*, separando os níveis de lavra com *sill pillar* (pilares horizontais); B) *Layout* modificado proposto por Batista (2019), lavra sem conexão de interníveis, com presença apenas de *sill pillars*, com grandes aberturas ao longo da direção do minério e sem possibilidade de enchimento com *rockfill*.

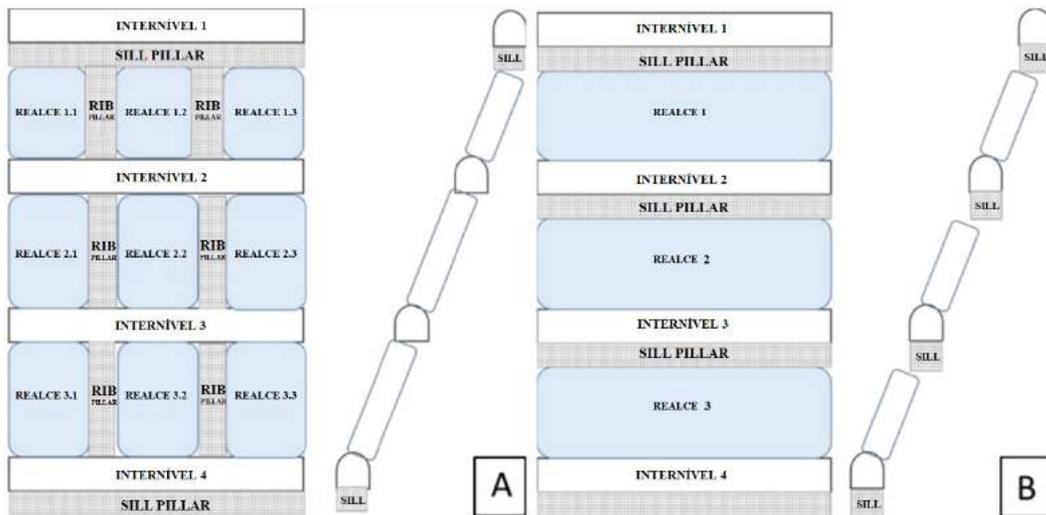


Figura 3. Variação do layout no método de lavra *Sublevel Stopping* a ser aplicado na Mina 3.

Apoiado nessa proposta, serão simulados os dois métodos de lavra com intuito de verificar a melhor estabilidade. O layout modificado, sem conexão de interníveis, economicamente é mais

rentável e apresenta ganhos operacionais como redução da perfuração, redução de abertura de face livre, ciclos de produção mais contínuos e com menos interrupções, geração de maior massa por

ciclo, além de reduzir as incertezas de reconciliação geológica já que os interníveis são independentes.

4 RESULTADOS

De forma a quantificar a diluição dos realces lavrados da Mina 3 da MSG, foram comparados os valores do planejado com escavado de 14 lavras no *layout* clássico. O painel de lavra contempla quatro interníveis conectados, sendo cada internível composto por três *stopes* de lavra e o último com quatro áreas de lavra.

A sequência de lavra iniciou no internível identificado como INT 722 (Figura 4). A lavra apresentou aderência adequada, sem perda de produtividade em relação a diluição. O segundo estágio descrito como INT 742, sendo dois realces conectados com o internível acima. A estabilidade da lavra permanece adequada com baixos valores de diluição. O terceiro estágio corresponde ao INT 752; nessa sequência, os três interníveis totalizam 46 m de altura na vertical e 60 m no HW. Após executado, o bloco 2 do INT 752 exibiu diluição de até três metros no HW localmente. O quarto e último estágio denominado de INT 772 um total de 60 m na vertical e 75 m no mergulho do minério é sustentado por pilares verticais. A lavra do último painel gerou instabilidade em seis regiões,

com diluição superior a três metros no HW, sendo que uma delas afetou três interníveis diferentes em maior proporção (Figura 4).

É possível interpretar na aderência da lavra do primeiro e segundo estágio da lavra, os primeiros seis realces identificados como INT 722 e INT 742, apresentaram estabilidade adequada, sem indícios de instabilidade por causa dos vãos lavrados, sendo que os valores superiores retratam possíveis problemas de perfuração e desmonte. O terceiro estágio identificado como INT 752, devido a geometria complexa, traz incertezas em relação a estabilidade da lavra, o resultado da diluição é evidenciado em um dos dez realces lavrados nesta etapa, apresentando uma estrutura geológica incipiente na região com diluição elevada (Figura 4). A lavra do último internível tende a gerar diluição superior aos demais, já que o conceito do método de lavra são grandes vãos de cima para baixo sem enchimento. Logo, se ocorre diluição em uma lavra superior, a mesma permanecerá ou será superior. A diluição após abertura do INT 772 foi generalizada, sendo representada principalmente em seis regiões distintas dos 14 realces do painel. A estrutura geológica anteriormente incipiente, na última etapa da lavra, evidenciada pelos traços amarelos, contribuíram para a instabilidade do painel.

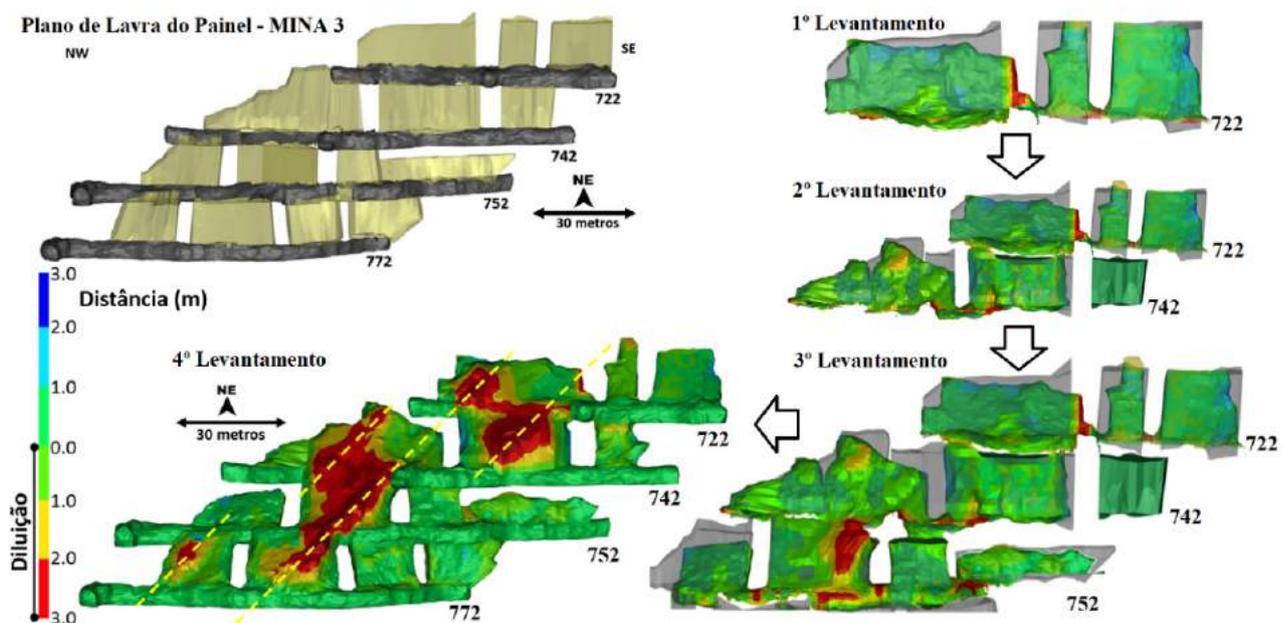


Figura 4. Aderência da lavra do nível 750 da Mina 3. Os traços amarelos evidência a diluição controlada por estruturas com orientação preferencial.

Os resultados demonstram uma instabilidade de nível painel caracterizado por duas estruturas do maciço rochoso, a foliação e a família de junta de orientação leste/oeste. Na Figura 4 é ilustrado sua relação com a diluição devido ao alongamento da quebra na direção paralela a estrutura. Importante assinalar que os resultados de alta diluição ocorreram de forma simultânea, durante a lavra do INT 772 ocorreu instabilidade no INT 742 para INT 722 e instabilidade do INT 772 para INT 742.

De forma a caracterizar as estruturas que condicionaram a quebra com as evidências do di-

recionamento da diluição, um total de 51 estruturas foram analisadas sendo dezoito denominadas como foliação e 33 como juntas. A foliação é paralela ao minério e não representa a direção mas sim o afastamento com a face planejada, sendo caracterizada deste modo como uma das superfícies que compõe o resultado final da diluição. As 33 juntas foram inseridas no estereograma para correlacionar com a diluição, e a distribuição espacial pode ser verificada na Figura 5.

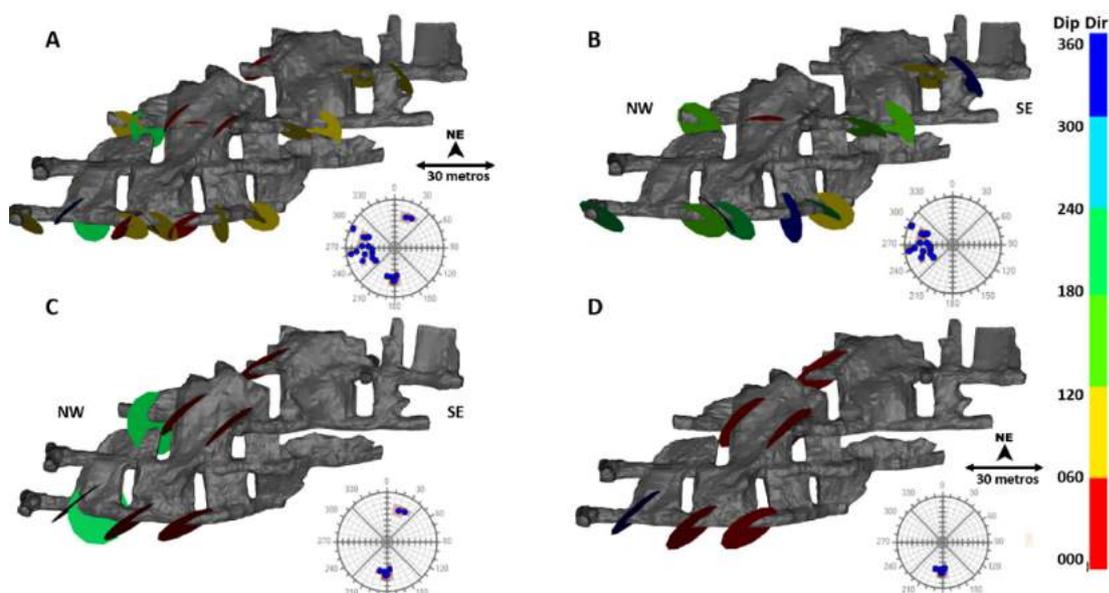


Figura 5. Caracterização estrutural do painel de lavra, baseado nas estruturas mapeadas.

É possível observar na Figura 5-A duas famílias de juntas denominadas de Junta 1 e 2. A Junta 2 apresentada na Figura 5-B não coincide com as posições de alta diluição, além de sua orientação não representar as regiões do maior alongamento da diluição. A Figura 5-C demonstra espacialmente a Junta 1 e condiz com a quebra, contudo a representação é feita por uma única família que apresenta orientações de mergulho opostas. Na Figura 5-D as estruturas denominadas de Junta 1 com mergulho para norte são visualizadas especialmente nas regiões onde ocorreram as maiores diluições e com direção paralela a estas estruturas, corroborando que estas estruturas condicio-

naram a instabilidade. Desta forma, as estruturas que condicionaram as instabilidades das duas regiões foram a foliação e a Junta 1 com mergulho para norte. A partir dos dados mapeados e das referências das estruturas marcadas no HW da escavação, foram realizada as projeções destas estruturas com as mesmas orientações descritas anteriormente, sendo a projeção mais a norte representada por três estruturas mapeadas (Figura 6). Estas projeções são importantes para a prevenção da instabilidade, já que são estruturas com grandes persistências (macros) que podem interceptar áreas planejadas, causando incertezas na estabilidade da escavação.

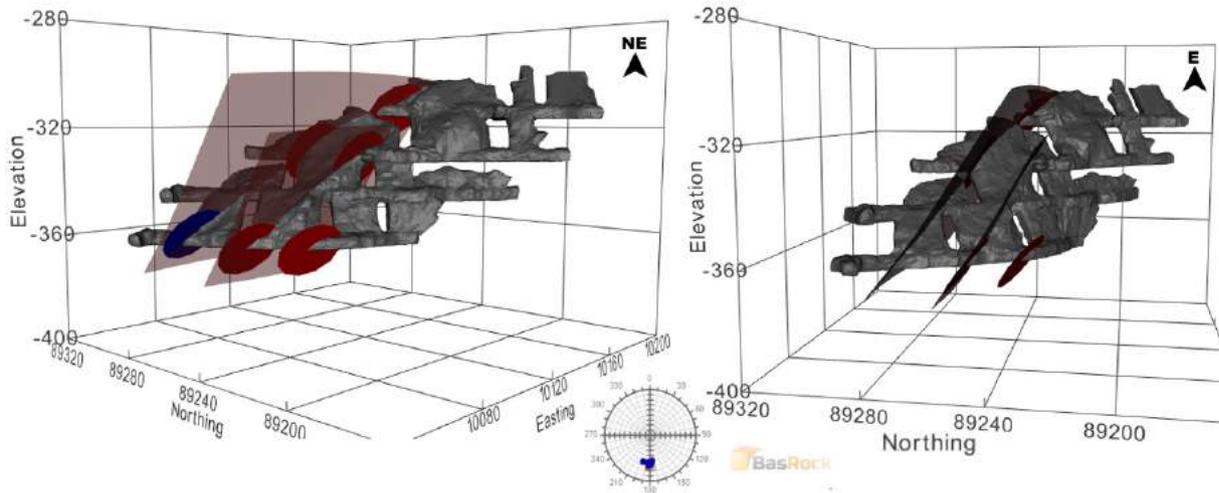


Figura 6. Estruturas que condicionaram a quebra no painel de lavra, denominadas de Junta 1.

De forma a avaliar as perdas envolvendo a diluição na região lavrada, optou-se por quantificar o material desmontado e separar a região de lavra da região de estéril, determinando assim a porcentagem de massa não planejada. A relevância da estabilidade está relacionada ao HW do minério, sendo assim, os dados de diluição do

footwall (FW) foram desconsiderados. Os perfis A e B da Figura 7 ilustram a região planejada que foi lavrado em azul e a diluição em vermelho no HW. A Tabela 1 resume os resultados, sendo a porcentagem da diluição calculada por meio da divisão dos volumes da diluição e do minério, já que ambos têm a mesma densidade.

Tabela 1. Diluição das duas principais áreas instáveis da Mina 3.

	Volume de minério (m ³)	Volume diluição (m ³)	Volume Total (m ³)	Diluição (%)	Diluição (ton.)	Custo com Diluição (US\$)
INT 722 - Perfil A	3152	1351	4503	42.9%	3756	US\$89.061,00
INT 742 - Perfil B	3920	2460	6380	62.8%	6839	US\$162.168,00
Total	7072	3811	10883	53.9%	10595	US\$251.229,00

Base monetária: Oz a US\$1500,00 e Dólar a R\$4,00

Os dois realces lavrados constituíram 53.9% de diluição, representando uma massa de 10.595 toneladas não planejadas. A somatória do custo do transporte do material da mina subterrânea e do processo de beneficiamento na planta metalúrgica da MSG é de US\$23.71/t, sendo assim, a diluição representou um custo de US\$251.229,00 além de atrasos operacionais já que é necessário transportar mais material e posteriormente bombear o rejeito para barragem reduzindo sua vida útil.

O impacto é superior comparando a massa de estéril beneficiado com o teor mínimo de produção da MSG, denominado de teor de corte de 1.5 g/t. Assim, substituindo o estéril que foi beneficiado pelo teor de corte, a MSG poderia ter produzido 511 oz de ouro a mais no plano de produção e sua receita somaria US\$750.000,00 por esse adicional, contabilizando assim uma perda de aproximadamente US\$1.000.000,00.

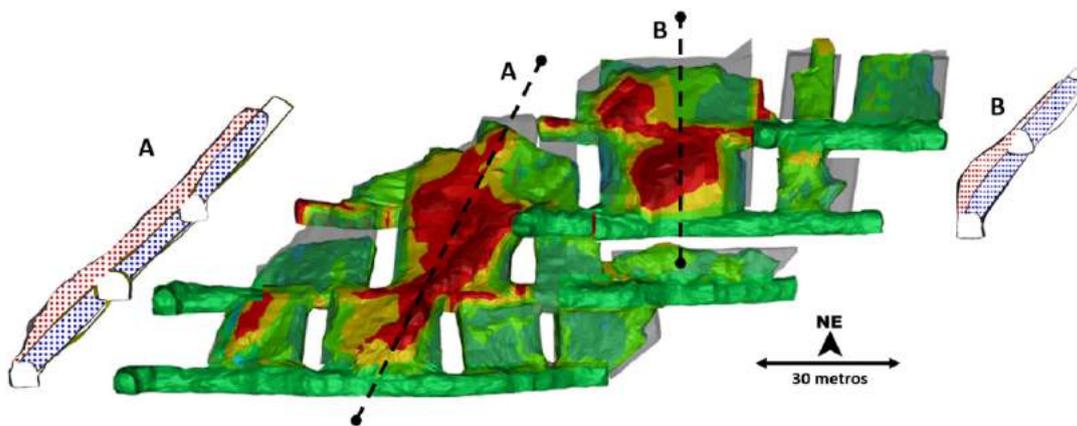


Figura 7. Seções nas principais áreas de instabilidade do painel de lavra da Mina 3, ressaltando em vermelho a diluição não planejada e em azul o minério desmontado.

De posse dos dados obtidos, uma nova proposta para o posicionamento dos pilares foi analisado, conforme o *layout* modificado exemplificado na Figuras 3. As interpretações advêm das estruturas analisadas que definem a instabilidade, a Junta 1 com mergulho para norte gera projeções estruturais ao longo do minério, de forma que o uso de pilares verticais (*rib pillar*) não contempla essas regiões, criando assim corredores estruturais sem posicionamento de um pilar (Figura 7). A mudança do *layout*, removendo o *rib pillar* e inserindo o *sill pillar*, pilar na horizontal, faz com que esses corredores sejam restritos aos pilares, com grandes vãos na direção que não contém estruturas persistentes, aumentando assim a estabilidade.

Sendo assim, foi proposto a lavra com *layout* modificado, com inúmeros benefícios, desde a ex-

tração de uma maior quantidade de minério, já que o volume do pilar é menor, quanto pela agilidade operacional com redução de face livre, denominada na mineração de *slot*. No geral, as lavras comportaram-se de forma adequada, com baixa diluição. Os resultados da aderência e a diluição podem ser verificados na Figura 8.

A porção norte do Bloco 3 e Bloco 4 apresentou instabilidade superior as demais áreas. Esse fato pode estar relacionado a recuperação parcial do pilar entre o segundo e o terceiro realce lavrado. É possível interpretar, com base na diluição do Bloco 3, que a estrutura que condicionou a diluição é a estrutura regional, Junta 1. O último realce, Bloco 4, também com diluição superior na parte norte, foi influenciado por desvio da perfuração, baseado nos resultados de perfilagem que são realizados pela equipe da MSG.

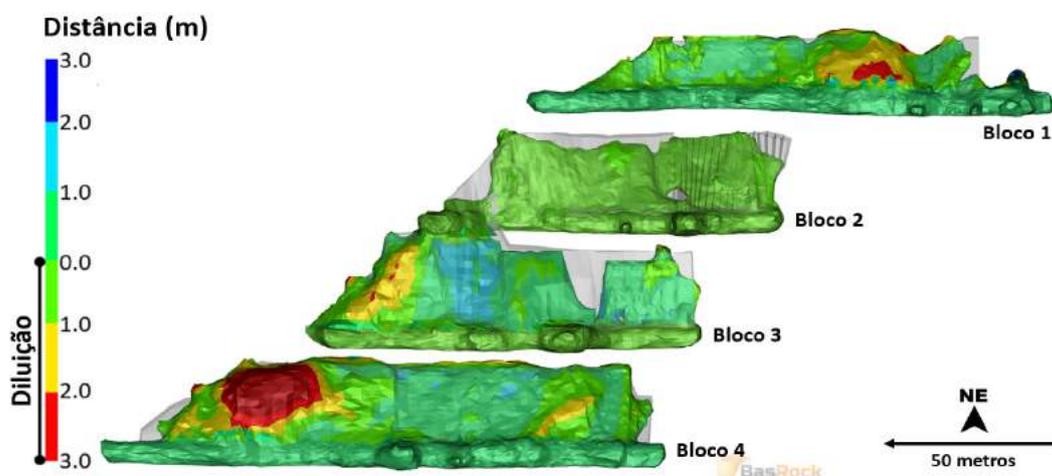


Figura 8. Aderência dos realces lavrados na Mina 3 com o *layout* modificado.

Com o intuito de comparar os resultados da diluição, é apresentado na Tabela 2 as diluições que ocorreram com o *layout* modificado. Na diluição está sendo considerada apenas a face do HW do minério assim como na Tabela 1. No total a di-

luição foi de 17.3%, com valor mínimo de 6.3% e valor máximo de 20.6%. Os resultados são positivos, visto que o planejamento da mina considera diluição de até 20% e os dados computados dos interníveis foram inferiores.

Tabela 2. Diluição das áreas de lavra da Mina 3 com o layout modificado.

	Volume Planejado (m ³)	Volume diluição (m ³)	Volume Total (m ³)	Diluição (%)	Diluição (ton.)	Custo com Diluição (US\$)
Bloco 1	1596	317	1913	19.86%	881	US\$20.897,00
Bloco 2	2731	173	2904	6.33%	481	US\$11.405,00
Bloco 3	3374	272	3646	8.06%	756	US\$17.931,00
Bloco 4	6543	1351	7894	20.65%	3756	US\$89.061,00
Total	12244	2113	16357	17.26%	5874	US\$139.293,00

Base monetária: Oz a US\$1500,00 e Dólar a R\$4,00

Em comparação ao método antigo, a diluição de 53.9% foi reduzida para 17.3% com o novo *layout*, significando que ocorreu uma redução de 36.6 pontos percentuais. Essa variação no contexto dos quatro blocos significou uma redução de 12.166 toneladas de diluição não planejada, logo ocasionou uma redução no custo de carregamento de transporte e beneficiamento na planta metalúrgica de US\$288.500,00, além dos custos envolvidos com beneficiamento do minério e transporte do rejeito para a barragem de rejeito. Simulando o teor mínimo de produção, as 12.166 toneladas representam 587 oz de ouro, receita superior a US\$850.000,00, sendo assim, totalizando ganhos de aproximadamente US\$1.100.000,00.

5 CONCLUSÃO

Uma forma de verificar a qualidade dos *layouts* é utilizar a aderência do planejado com executado quantificando a diluição e seus gastos. O *layout* clássico de *sublevel* custou para a empresa perdas de aproximadamente US\$1.000.000,00, enquanto o layout modificado trouxe inúmeros benefícios além da redução da diluição com ganhos de aproximadamente US\$1.100.000,00.

Os resultados alcançados comprovam que métodos adequados de engenharia geotécnica empregados de forma correta por engenheiros geotécnicos qualificados são capazes de determi-

nar o melhor *layout* de lavra, além de trazer benefícios à segurança, constituindo-se no alicerce para a execução de um projeto com confiabilidade de custos e prazos. O dimensionamento inadequado, seja em relação ao tamanho do vão ou da forma de conexão das áreas de lavra, traz impactos significativos ao custo de produção e atrasos no plano de produção. A prática de simular cenários diferentes na busca da melhor relação econômica e financeira do ativo é uma das atividades essenciais ao geotécnico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), à AngloGold Ashanti (AGA) e à Mineração Serra Grande (MSG) pelo fomento à pesquisa e por apoiar a publicação deste estudo.

REFERÊNCIAS

Batista, G.A.P. (2019) *Calibração do Modelo Numérico por Meio da Abordagem Probabilística e da Diluição Estruturalmente Controlada no Método de Lavra Sublevel Stopping*. Dissertação (mestrado em Geotecnia) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Charbel, P.A. (2015) *Gerenciamento de risco aplicado à diluição de minério*. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

Costa, L.C.B. (2017) *Metodologia para prever e reduzir o risco de diluição não planejada em lavras estreitas pelo método sublevel stoping* Estudo de caso: Mina Córrego do Sítio, Santa Bárbara/MG. Dissertação (mestrado em Geotecnia) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Da Silva, J.H, Batista. G.A.P., De Souza, T.L.C., Carvalho, A.S., Ribeiro, G.R. (2018) *Análises Empíricas para Estimativa de Estabilidade e Diluição de Realces Sublevel Stopping da Mina Corpo IV, Mineração Serra Grande*. Simpósio Brasileiro de Mecânica de Rochas – SBMR, 2018, Salvador, BA

Da Silva, J.H, Batista, G.A.P., Ramires, J.E.F., Carvalho, A.S.; Ribeiro, G.R., Resende, P.F.S. (2019) *The influence of the discontinuities on the mining performance*. 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering – ISRM, Foz do Iguaçu, PR.

Mathews, K. E., Hoek, E., Wylie, D.C., Stewart, S.B.V. (1981) *Prediction of stable excavation spans for mining at depths below 1,000 m in hard rock mines*. Canmet Report DSS Serail No. OSQ80-00081.

Potvin, Y. (1988) *Empirical open stope design in Canada*. Ph.D. Thesis. The University of British Columbia p.350.

UNIDADES BÁSICAS DE COMPARTIMENTAÇÃO (UBC) DO ESTADO DE SÃO PAULO E SEU USO PARA AVALIAÇÕES GEOAMBIENTAIS E PLANEJAMENTO TERRITORIAL

BASIC COMPARTMENT UNITS (BCU) OF THE STATE OF SÃO PAULO AND ITS USE FOR GEOENVIRONMENTAL EVALUATIONS AND TERRITORIAL PLANNING

RICARDO VEDOVELLO

Instituto Geológico-IG, São Paulo, SP, e-mail: rvedovello@sp.gov.br

CLÁUDIO JOSÉ FERREIRA

Instituto Geológico-IG, São Paulo, SP, e-mail: cferreira@sp.gov.br

ALINE SALIM

Coordenadoria de Planejamento Ambiental-CPLA, São Paulo, SP, e-mail: asalim@sp.gov.br

JULIANA AMORIM DA COSTA MATSUZAKI

Coordenadoria de Planejamento Ambiental-CPLA, São Paulo, SP, e-mail: julianaac@sp.gov.br

KENZO MATSUZAKI

Coordenadoria de Planejamento Ambiental-CPLA, São Paulo, SP, e-mail: kenzo@sp.gov.br

DENISE ROSSINI PENTEADO

Instituto Geológico-IG, São Paulo, SP, e-mail: dpenteado@sp.gov.br

ARLETE TIEKO OHATA

Coordenadoria de Planejamento Ambiental-CPLA, São Paulo, SP, e-mail: aohata@sp.gov.br

RESUMO ABSTRACT

A cartografia geotécnica e ambiental de abrangência para todo o estado de São Paulo ocorre em escalas 1:500.000 ou menores. Trabalhos de maiores escalas e resoluções estão restritos, ora a municípios, ora a regiões, porém, a falta de contiguidade geográfica e a heterogeneidade de escalas e métodos dificulta a integração para o território paulista. Este trabalho tem por objetivo apresentar um método para obtenção de uma base de informações do meio físico natural para todo o estado de São Paulo, em escala regional compatível com 1:75.000, organizada em unidades fisiográficas do substrato geológico-geomorfológico-pedológico que correspondam a Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) do terreno, adequadas para análises integradas voltadas à gestão ambiental e territorial. O objetivo específico é gerar um mapa de perigo de escorregamento do estado de São Paulo. Em conclusão destaca-se que: a) o produto resultante apresenta formato sim-

The engineering and environmental cartography of the State of Sao Paulo is available only in 1:500.000 or minor scales. Products of larger scales and resolution are restricted to some municipalities or regions. However, the lack of spatial continuity and method and scale heterogeneity makes its integration to the entire territory of the State of Sao Paulo rather difficult. The objective of the study is to present a method to obtain a base of information of the natural and physical environment, to the whole of the State of Sao Paulo, in a 1:75.000 scale, based on physiographic units of the geological-geomorphological substratum (UBC) aimed to integrate environmental and territorial analysis and management. Its specific objective is to produce a landslide hazard map. In conclusion it is highlighted: a) the simple, open and flexible character of the product; b) the numerical approach based on raster layers allowing characterization of any polygon

ples, aberto e flexível, onde se tem apenas um arquivo em formato *shapefile*; b) a utilização de atributos numéricos na forma de camadas matriciais permite definir uma variação contínua de indicadores, cujas médias podem ser extraídas para os polígonos de interesse por procedimentos de médias zonais; c) a abrangência estadual, em escala compatível com 1:75.000 e resolução de 30 metros, confere homogeneidade na análise regional para todo o estado de São Paulo e facilita o uso do produto em ações de planejamento e ordenamento territorial.

Palavras-chave: cartografia geotécnica e ambiental, geoindicadores, perigo de escorregamento.

1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas, por meio do uso e ocupação do território, acarretam transformações no meio ambiente, as quais devem ocorrer de forma sustentável. Tal sustentabilidade reside tanto no atendimento às necessidades atuais da sociedade, evitando-se riscos e danos ambientais e socioeconômicos, para as próprias atividades e para a saúde da população, como na preservação de condições que não comprometam as necessidades de um ambiente adequado também para as futuras gerações.

Para se harmonizar as relações entre as atividades humanas e o uso do meio ambiente são adotados mecanismos e procedimentos de gestão ambiental do território. A gestão ambiental, compreendida como o conjunto de procedimentos destinados a definir, organizar e executar o desenvolvimento sustentável de uma dada sociedade, pode ser dividida em três instrumentos básicos: a Política Ambiental, o Planejamento Ambiental, e o Gerenciamento Ambiental (Vedovello 2000). Enquanto o primeiro refere-se à definição dos princípios e diretrizes que vão nortear o desenvolvimento sustentável, o planejamento ambiental contempla a organização do território que, posteriormente, será colocada em prática por meio dos mecanismos de gerenciamento que incluem ações de administração, de controle e de intervenção. Dessa forma, o Planejamento Ambiental é o instrumento essencial que permite articular os procedimentos que compõem a gestão ambiental.

vector layers by zonal statistics procedures in GIS in a continuum numerical range; c) the mapping of the entire area of the State of Sao Paulo, which is useful in terrain evaluation and environmental planning.

Keywords: Engineering and Environmental Geology, geoindicators, landslide hazard.

De forma simplificada, observa-se que o Planejamento Ambiental é constituído por diagnósticos e prognósticos sobre as potencialidades, fragilidades e problemas ambientais de um determinado território, de forma que se possa viabilizar o uso e a ocupação do meio ambiente em consonância com o princípio do desenvolvimento sustentável (Vedovello 2000). Tais avaliações normalmente são sintetizadas na forma de zoneamentos que objetivam ordenar ou orientar o uso e a ocupação do território.

Evidentemente, as informações sobre o meio físico são essenciais para subsidiar o planejamento territorial, em particular se disponibilizadas com conteúdo e em formatos adequados. Nesse sentido, a cartografia geotécnica e geoambiental constitui uma ferramenta com grande potencial de uso, por meio da qual é possível se dispor de informações sobre fragilidades e potencialidades do terreno e sobre problemas geoambientais associados aos riscos e às áreas degradadas.

De forma correlata à discussão metodológica apresentada pela IAEG (1970) para os mapas e cartas geotécnicos, é possível distinguir entre mapas de condições geoambientais e mapas de zoneamento geoambiental. No primeiro caso há um simples registro das informações do meio físico, sem preocupação com a interpretação dessas informações. No segundo caso as informações geológico-geotécnicas e geoambientais são registradas e interpretadas, com consequente delimitação de áreas que apresentem homogeneidade de condições e/ou comportamento.

Devido ao caráter interpretativo dos zoneamentos geoambientais, as informações presentes nesse tipo de produto são representadas de uma forma mais simples e objetiva. Tal fato facilita e favorece a utilização desse tipo de carta por usuários de outras áreas do conhecimento, como é o caso frequente de equipes e gestores envolvidos no planejamento de territórios e em gestão ambiental.

Um zoneamento geotécnico ou geoambiental consiste na delimitação de áreas (zonas) do terreno para as quais os elementos componentes do meio físico determinam condições geológico-geotécnicas semelhantes, e para as quais um comportamento geotécnico ou uma aptidão de uso possam ser indicados frente às diferentes atividades antrópicas. Na obtenção de um zoneamento geotécnico são observadas três etapas básicas: 1) compartimentação do terreno, onde ocorre a identificação de zonas com características e propriedades geológico-geotécnicas homogêneas; 2) caracterização geotécnica, com a determinação das características e propriedades geotécnicas das áreas delimitadas; e 3) cartografia temática final ou de síntese, na qual as unidades definidas nas etapas anteriores são analisadas e classificadas em termos de fragilidades e potencialidades do terreno. (Vedovello 2000).

Para a espacialização de dados e informações geoambientais na etapa de compartimentação do terreno é possível identificar duas abordagens operacionais básicas na literatura sobre avaliação de terrenos (*terrain evaluation*). Mitchell (1973) identifica essas abordagens como: fisiográfica ou de paisagens (*physiographic or landscape approach*) e paramétrica (*parametric approach*).

Devido à tendência de priorização de análises integradas em estudos voltados à gestão territorial, a abordagem fisiográfica tem sido cada vez mais utilizada na etapa de compartimentação de terrenos em zoneamentos geoambientais. Esta abordagem se contrapõe à abordagem paramétrica ou analítica que considera cada atributo de análise individualmente para um empilhamento vertical de camadas ou planos de informação. Na abordagem fisiográfica, também por vezes referida como sintética, a forma e distribuição espacial de feições do terreno são analisadas de uma maneira integrada, permitindo a delimitação de uni-

dades de análise que guardam correspondência com características e propriedades do substrato geológico, geomorfológico e pedológico (Vedovello 2000; Cendrero et al. 2004; Fernandes da Silva et al. 2010).

O substrato geológico, geomorfológico e pedológico é resultado da evolução de processos geodinâmicos endógenos e exógenos (Ohara et al. 2003) e orienta as condições evolutivas atuais, resultantes da interação entre sistemas naturais e humanos (Cendrero 1997). Sua caracterização constitui informação fundamental para a elaboração de zoneamentos ambientais, pois condiciona as aptidões e fragilidades do terreno às ocupações e ao uso (Vedovello 2000, Mattos et al. 2007, Fernandes da Silva et al. 2010).

No estado de São Paulo, a cartografia do substrato, realizada com base na abordagem fisiográfica ou sintética, apresenta grande heterogeneidade em termos de escala, abrangência e métodos, própria de cada disciplina do conhecimento e época de geração. Embora existam mapas em nível estadual em escalas 1:500.000 e menores, a exemplo dos mapas elaborados por IPT (1994), Ross & Moroz (1997), Perrota et al. (2005), os estudos em escalas mais detalhadas (1:100.000 e maiores), seja em nível municipal (Cardoso et al. 2009), seja em nível regional (Tominaga et al. 2004; Ferreira & Rossini-Penteado 2011), apresentam falta de contiguidade, diversidade de escala e heterogeneidade metodológica que dificultam a integração dos mapeamentos para o território estadual.

Dessa forma, é fundamental a obtenção de uma compartimentação do terreno uniforme e contínua para todo o estado de São Paulo, segundo uma abordagem sintética ou fisiográfica, e em escala compatível com os instrumentos de planejamento ambiental existentes, de maneira a se obter zoneamentos geotécnicos e geoambientais compatíveis com sua inserção em estudos integrados de gestão e de ordenamento do território.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é apresentar o método de obtenção de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) do estado de São Paulo, o qual constitui uma base de informações do meio físico natural, em escala regional compatível

com 1:75.000, organizada em níveis hierárquicos que expressam em unidades fisiográficas de compartimentação do substrato geológico, geomorfológico e pedológico.

O objetivo específico é apresentar a aplicação do método na elaboração de um mapa de perigo de escorregamento, do tipo planar raso do estado de São Paulo, que possa ser utilizado em zoneamentos geoambientais voltado para subsidiar trabalhos e atividades de gestão ambiental e de ordenamento territorial.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura metodológica adotada no trabalho, conforme proposto por Vedovello (2000), baseia-se na obtenção de zoneamentos geotécnicos e geoambientais, a partir da análise integrada do terreno e com o uso de procedimentos sistemáticos de fotointerpretação. Para tanto são consideradas três etapas básicas: 1) Compartimentação Fisiográfica do Terreno; 2) Caracterização Geotécnica; e 3) Cartografia Temática Final ou de Síntese. A caracterização e procedimentos operacionais dessas etapas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Síntese das etapas e procedimentos operacionais para a elaboração de zoneamentos geotécnicos (adaptado de Vedovello 2000).

Etapas	Procedimento	Características
compartimentação Fisiográfica do Terreno	a) seleção do produto de sensoriamento remoto	Deve considerar as características espectrais, espaciais e temporais das imagens de satélite, as características específicas sobre as cenas, tais como ângulo de elevação solar, cobertura de nuvens, e as particularidades das áreas de estudo.
	b) compartimentação da área de estudo	Consiste em identificar na imagem divisões fisiográficas em diferentes níveis hierárquicos, através da análise de elementos texturais e tonais das imagens, e consequente determinação de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs).
	c) avaliação de homogeneidade e de similaridade	Refere-se à análise das propriedades dos elementos texturais utilizados na interpretação. Objetiva identificar heterogeneidades internas nas unidades que determinem sua subdivisão, ou classificação sob a mesma denominação.
	d) trabalhos de campo	Objetiva a confirmação ou o ajuste de limites fotointerpretados e a confirmação de características morfoambientais e genéticas atribuídas aos diversos níveis de compartimentação das unidades.
	e) elaboração do mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC)	Refere-se à elaboração de um mapa onde as diversas UBCs estão identificadas por uma sigla ou código refletindo, ainda, seu contexto fisiográfico e seus níveis hierárquicos de compartimentação.
Caracterização Geotécnica	a) Identificação dos fatores de análise e das classes dos fatores	Consiste na identificação de propriedades ou características do terreno necessárias para a avaliação pretendida. Contemplam dados e informações sobre rochas, solos, relevo, processos geodinâmicos, recursos hídricos e vegetação.
	b) Obtenção dos fatores de análise e classificação	São obtidos a partir de trabalhos de campo, dados prévios, ou por inferência a partir de imagens de sensoriamento remoto. A forma de obtenção depende do nível de informação necessário dos recursos e do tempo disponíveis.
	c) Sistematização das informações sobre as UBCs	Devem ser padronizadas e referenciadas em classes predeterminadas, face a aplicação prevista, e armazenadas em tabelas ou banco de dados que as relacionem às respectivas UBCs.
Cartografia Temática Final	a) definição das classes da carta final	Depende, essencialmente, da aplicação pretendida e devem refletir as diferentes situações ou condições geológico-geotécnicas que condicionam ou limitam a utilização e a gestão de uma dada área.
	b) definição dos critérios de análise e classificação das UBCs	Estabelecimento de relação entre os fatores geoambientais, suas respectivas classes, e as classes da carta final. Traduz-se em uma regra de classificação (p.ex. tabelas de classificação, árvores lógicas, pesos e somatório de valores).
	c) cartografia final	É obtida através da aplicação da regra de classificação e consiste em atribuir, a cada UBC, uma das classes da carta geotécnica. Pode ser feita diretamente pelo executor da cartografia ou por meio de procedimentos informatizados.

3.1 Compartimentação Fisiográfica do Terreno

A etapa de Compartimentação Fisiográfica do Terreno consistiu em dividir a área continental do estado de São Paulo em unidades que apresentam homogeneidade quanto às características dos elementos componentes do substrato geológico, geomorfológico e pedológico, e que, portanto, determinam comportamentos específicos frente às ações e atividades antrópicas. Tais unidades, denominadas de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC), foram obtidas segundo uma abordagem fisiográfica, a partir da análise sistemática de produtos de sensoriamento remoto.

Esta análise sistemática foi feita com base nas diferenças de homogeneidade, tropia e assimetria de elementos texturais e tonais de imagens, considerando-se ainda, propriedades e características da textura tais como: tipo de elemento textural, densidade de textura, arranjo textural, grau de estruturação e ordem de estruturação dos elementos, segundo abordagem adaptada de Soares & Fiori (1976).

Os trabalhos de fotointerpretação foram realizados com base em imagens digitais do satélite Landsat, composição colorida R(5), G(4), B(3), e com apoio de arquivos matriciais de Modelos Digitais de Elevação (MDE) de diferentes fontes, tais como GISAT (DAEE 2008), TOPODATA (Valeriano 2008) e ASTER-GDEM (NASA/METI/AIST/JAPAN SPACESYSTEMS 2009). A interpretação foi realizada em escala de tela entre 1:50.000 e 1:75.000.

O procedimento para delimitação das UBCs consistiu na identificação de setores homogêneos definidos pelas características das formas e das propriedades dos elementos texturais observáveis em produtos de sensoriamento remoto (Vedovello 2000, Cardoso et al. 2009).

Para a contextualização das UBCs em termos de domínios fisiográficos, adotou-se como referência de classificação hierárquica/taxonômica a proposição de Ross & Moroz (1997) e, em parte, a proposta por Perrota et al. (2005), resultando na definição de quatro níveis de compartimentação, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Níveis hierárquicos utilizados na obtenção da compartimentação fisiográfica do estado de São Paulo.

Nível 1 – Unidades morfoestruturais e geotectônicas	Nível 2 – Unidades morfoesculturais e litoestratigráficas	Nível 3 – Unidades de relevo e litotipos	Nível 4 – Unidades Básicas de Compartimentação – UBC
Correspondem às grandes macroestruturas, como os escudos antigos, as faixas de dobramentos proterozóicos, as bacias paleomesozóicas e os dobramentos modernos e áreas de sedimentação cenozóicas. Estão representadas por determinadas características estruturais, litológicas e geotectônicas associadas às suas gênese.	Correspondem aos compartimentos gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico, sobre diferentes morfoestruturas. Revela morfologias resultantes de desgaste erosivo promovido por ambientes climáticos específicos e variáveis em ambientes tectônicos diferenciados, tanto atuais como pretéritos.	Correspondem aos conjuntos de formas de relevo e tipos litológicos, que constituem unidades resultantes dos processos intempéricos e de ações erosivas, associados a processos pedogenéticos, os quais em grande parte continuam atuando na modelagem do relevo. Apresentam variações locais e associada a sua localização geográfica.	Correspondem às associações específicas e aos locais de componentes morfológicos e morfométricos do relevo, de aspectos pedológicos, bem como de características e propriedades litológicas, tais como: grau de faturamento, foliação, etc. Refletem anisotropias e variações de organização e associação dos elementos que compõem a forma.

3.2 Caracterização Geotécnica e Geoambiental

A etapa de Caracterização Geotécnica e Geoambiental consiste em determinar, para cada unidade obtida na etapa anterior, propriedades e características dos materiais (solos, rochas e sedimentos) e das formas (tipos de relevo e processos morfogenéticos) do meio físico que sejam deter-

minantes das condições geológico-geotécnicas relevantes para a aplicação pretendida.

Para ilustrar a aplicação do produto em análises e zoneamentos geoambientais, foi selecionado um conjunto de atributos considerados adequados para o cálculo de um índice de perigo de escorregamento para cada UBC. Tais índices seriam analisados e agrupados na etapa de cartografia final para a elaboração do Mapa de Perigo

de Escorregamento. No caso do estudo em pauta considerou-se os atributos compatíveis para tratar a ocorrência de escorregamentos do tipo planar raso. Os atributos selecionados foram: declividade, amplitude altimétrica, excedente hídrico, índice de foliação e densidade de drenagem. A Tabela 3 apresenta, de forma sintética, a descrição e a forma de obtenção dos atributos considerados.

Para cada atributo considerado foram inicialmente obtidos Planos de Informação (PI) em formato matricial. Sobre estes PIs foram realizadas operações de média zonal, tendo como restrição os polígonos das UBCs. Para os atributos declividade, excedente hídrico e densidade de drenagem foram obtidos os valores médios de cada polígono das UBCs, utilizando a ferramenta *Zonal Statistics as Table (Statistics type MEAN)*, do software Arc-Map 10.1. A amplitude altimétrica de cada polígono das UBCs foi obtida com base nos dados de altitude, utilizando-se a mesma ferramenta, sendo apenas alterado o tipo de estatística (*Statistics type RANGE*).

Para possibilitar a aplicação de uma fórmula de cálculo, os valores absolutos dos atributos foram padronizados para o intervalo 0-1, conforme a Equação [1], considerando-se como amostragem o estado de São Paulo.

$$\text{Atributo Normalizado} = [(V_n - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})] \text{ Equação [1]}$$

onde, V_n = valor a ser normalizado; V_{\min} = valor mínimo da amostragem; V_{\max} = valor máximo da amostragem.

Os polígonos das UBCs, obtidos na etapa anterior de compartimentação fisiográfica, foram associados a um banco de dados relacional contendo os atributos considerados. Com base neste procedimento foi possível a modelagem e o cálculo do índice de perigo a ser utilizado na etapa de cartografia final.

Tabela 3. Descrição e forma de obtenção dos atributos utilizados no cálculo do perigo de escorregamento do tipo planar raso para as UBCs.

Atributo	Descrição	Forma de obtenção
Amplitude (AM)	Representa o desnível entre o topo e a base da encosta. Quanto maior a amplitude maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fonte: TOPODATA (Valeriano 2008). Unidade: metros.	Obtido a partir da interpolação de valores de cota de grades de 30x30m; obtenção da diferença entre cota máxima e cota mínima e cálculo de média zonal.
Declividade (DE)	Expressa a inclinação das vertentes. Quanto maior a declividade, maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fonte: TOPODATA (Valeriano 2008). Unidade: graus.	Obtido a partir da interpolação de valores de cota do Modelo Digital de Elevação (MDE) em grades de 30x30m; e cálculo de média zonal.
Densidade de Drenagem (DD)	Expressa a permeabilidade e grau de fraturamento do terreno. Quanto maior a densidade de drenagem, maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fonte: drenagem automática (CPLA 2013). Unidade: metros/m ² .	Obtido a partir da interpolação de valores de Densidade de Drenagem em grades de 90x90m; e cálculo de média zonal.
Índice de foliação (IF)	Expressa o grau de estruturação do terreno. Quanto maior o índice de foliação, maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fonte: reclassificação das unidades geológicas. Unidade: adimensional.	Obtido a partir da reclassificação das unidades geológicas, considerando rochas sedimentares as menos foliadas e rochas xistosas as mais foliadas.
Excedente Hídrico (EH)	Expressa a quantidade de chuva. Quanto maior o excedente hídrico, maior a probabilidade de ocorrência do processo. Fator condicionante da variável "Perigo". Fonte: Armani et al. 2007. Unidade: milímetros.	Obtido a partir da interpolação de valores de Excedente Hídrico em grades de 200x200m; e cálculo de média zonal.

3.3 Cartografia Final de Síntese

A etapa de Cartografia Temática Final refere-se à classificação das Unidades Básicas de Compartimentação quanto às fragilidades e potencia-

lidades do terreno. Essa classificação é feita com base na análise das propriedades e características do meio físico, obtidas na etapa de caracterização geotécnica ou geoambiental, sendo determinada

através de critérios ou regras de classificação estabelecidas para cada aplicação pretendida.

No caso do presente trabalho, a cartografia final consistiu na obtenção de um Mapa de Perigo de Escorregamento para o estado de São Paulo. Como “Perigo” foi adotado o conceito proposto em ONU (2009), que o define como fenômeno, substância, atividade humana ou condição que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos na saúde, danos às propriedades, perda de bens e serviços, distúrbios sociais e econômicos e danos ao meio ambiente.

Para exprimir o grau de perigo, foram estabelecidas seis classes, variando de P0 a P5, onde P0 representa uma probabilidade nula a quase nula de ocorrência do processo e P5 (Muito Alta) a probabilidade máxima de ocorrência do processo perigoso. As demais classes representam situações

intermediárias entre estes extremos: P4 (Alta), P3 (Média), P2 (Baixa) e P1 (Muito Baixa).

O critério de enquadramento para a classe P0 foi geomorfológico. Considerando-se apenas o perigo de escorregamento de encostas, todas as UBCs relacionadas às planícies foram diretamente classificadas como P0 (probabilidade nula a quase nula de ocorrência do processo). O critério de enquadramento das demais UBCs quanto às classes de perigo (P1 a P5), seguiu o modelo proposto nas equações [2] a [4], considerando três cenários de intervalos de declividade: Cenário 1 – Declividades entre 0-6° e maior que 24° (equação 2); Cenário 2 – Declividades entre 6-12° e 18-24° (equação 3); e Cenário 3 – Declividades entre 12-18° (equação 4). Os limites das classes de P1 a P5 foram definidos por meio do método das Quebras Naturais.

$$P_ESC=0,8*DE + 0,05*AM + 0,05*DD + 0,05*EH + 0,05*IF \quad \text{Equação [2];}$$

$$P_ESC=0,5*DE + 0,125*AM + 0,125*DD + 0,125*EH + 0,125*IF \quad \text{Equação [3];}$$

$$P_ESC=0,2*DE + 0,2*AM + 0,2*DD + 0,2*EH + 0,2*IF \quad \text{Equação [4];}$$

onde, P_ESC = perigo de escorregamento; DE = declividade; AM = amplitude altimétrica; DD = densidade de drenagem; EH = excedente hídrico; IF = índice de foliação.

4 RESULTADOS

Como resultado, foram obtidas as Unidades Básicas de Compartimentação do estado de São Paulo, hierarquizadas segundo domínios fisiográficos, as quais constituem um plano de informações que contém 24.221 polígonos vinculados a uma tabela de atributos com propriedades e características do terreno. Para o exemplo de aplicação foram obtidos os atributos que possibilitaram obter uma Mapa de Perigo de Escorregamento a partir da aplicação de critérios de classificação das UBCs quanto ao processo de escorregamento do tipo planar raso.

4.1 A Compartimentação Fisiográfica e as UBCs do estado de São Paulo

Os polígonos relativos às UBCs foram obtidos a partir de compartimentações sucessivas, definindo-se inicialmente os compartimentos referentes ao primeiro nível taxonômico adotado (Nível 1 – Unidades Morfoestruturais e Geotectônicas) e, posteriormente, se subdividindo as unidades desse primeiro nível em compartimentos referentes ao Nível 2, Nível 3 e Nível 4, sucessivamente. Os polígonos relativos a cada UBC obtida no nível 4 foram relacionados ao contexto hierárquico definido nos níveis anteriores, con-

forme sintetizado na Tabela 4. A Figura 1 exibe o conjunto de polígonos das UBCs para o estado de São Paulo e os cinco domínios fisiográficos relativos às morfoestruturas adotadas no Nível 1 da compartimentação.

Os procedimentos para a obtenção dos compartimentos de cada nível hierárquico, assim como da forma de utilização do Modelo Digital de Elevação (MDE), foram diversos tendo em vista as possibilidades de contraste mais apropriadas para a distinção das unidades e definição dos limites, devido às peculiaridades de cada ambiente

fisiográfico do estado de São Paulo. A forma de identificação e de delimitação das unidades de compartimentação nos quatro níveis hierárquico adotados para o Estado foi detalhada em SÃO PAULO (2014). Considerando que os procedimentos e critérios foram similares para todos os compartimentos obtidos em cada nível hierárquico, exemplifica-se na Figura 2 o uso de modelo de relevo sombreado, a hipsometria e a declividade para obtenção da compartimentação em cada nível hierárquico.

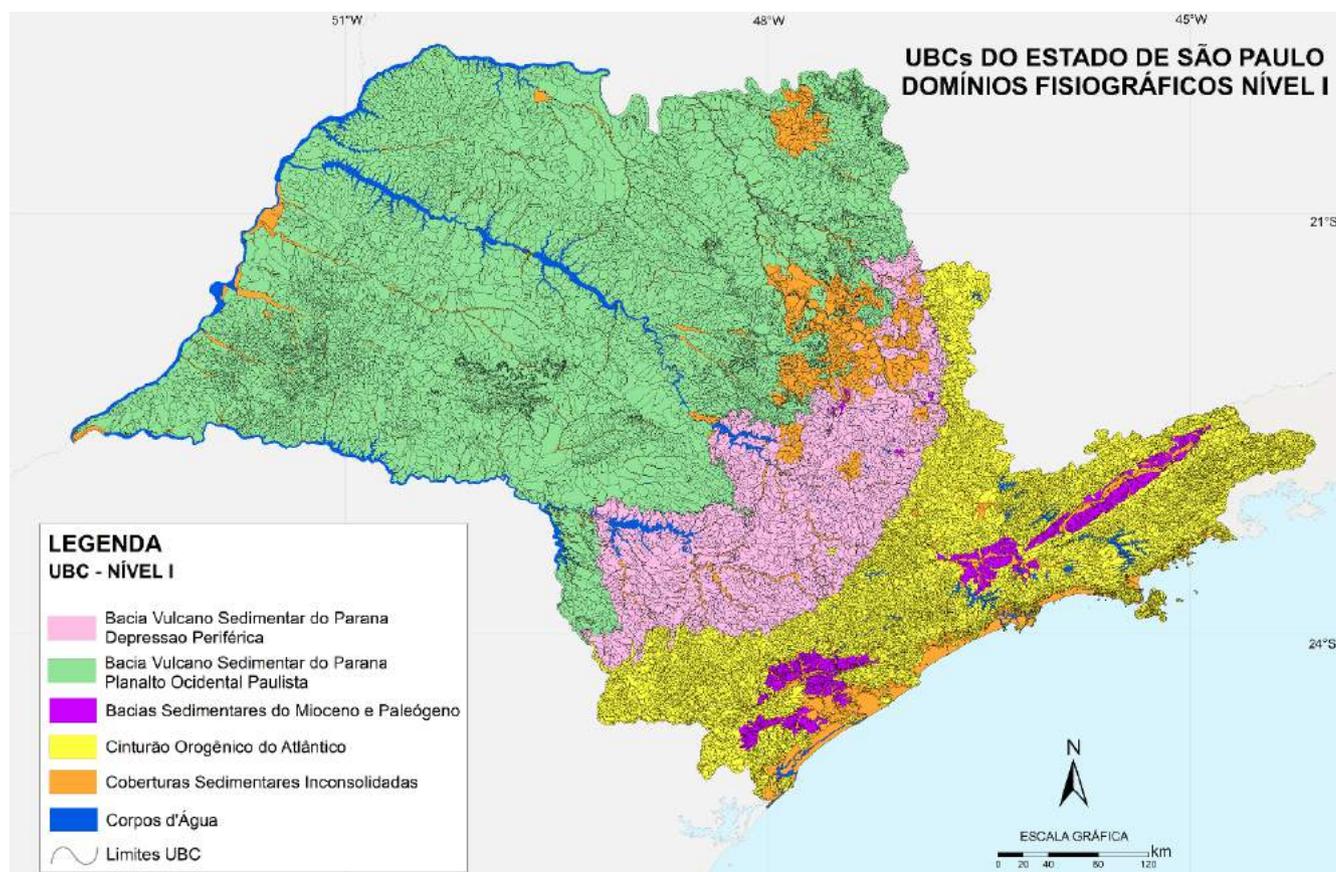


Figura 1. Conjunto de polígonos das UBCs para o estado de São Paulo e os cinco domínios fisiográficos relativos às morfoestruturas adotadas no Nível 1 da compartimentação.

A Figura 2 mostra que a hipsometria e a declividade permitem uma boa diferenciação dos compartimentos nos três primeiros níveis hierárquicos. Como exemplo, para o Nível Hierárquico 1, exemplifica-se a delimitação entre a Depressão Periférica e as unidades morfoestruturais adja-

centes, o Planalto Ocidental Paulista e o Cinturão Orogênico do Atlântico (Figura 2-1A, 1B, 1C).

O nível hierárquico 2 constituído pelas unidades morfoesculturais (depressões, planaltos, serras/escarpas e morros isolados) é exemplificado pela delimitação de serras/escarpas da região

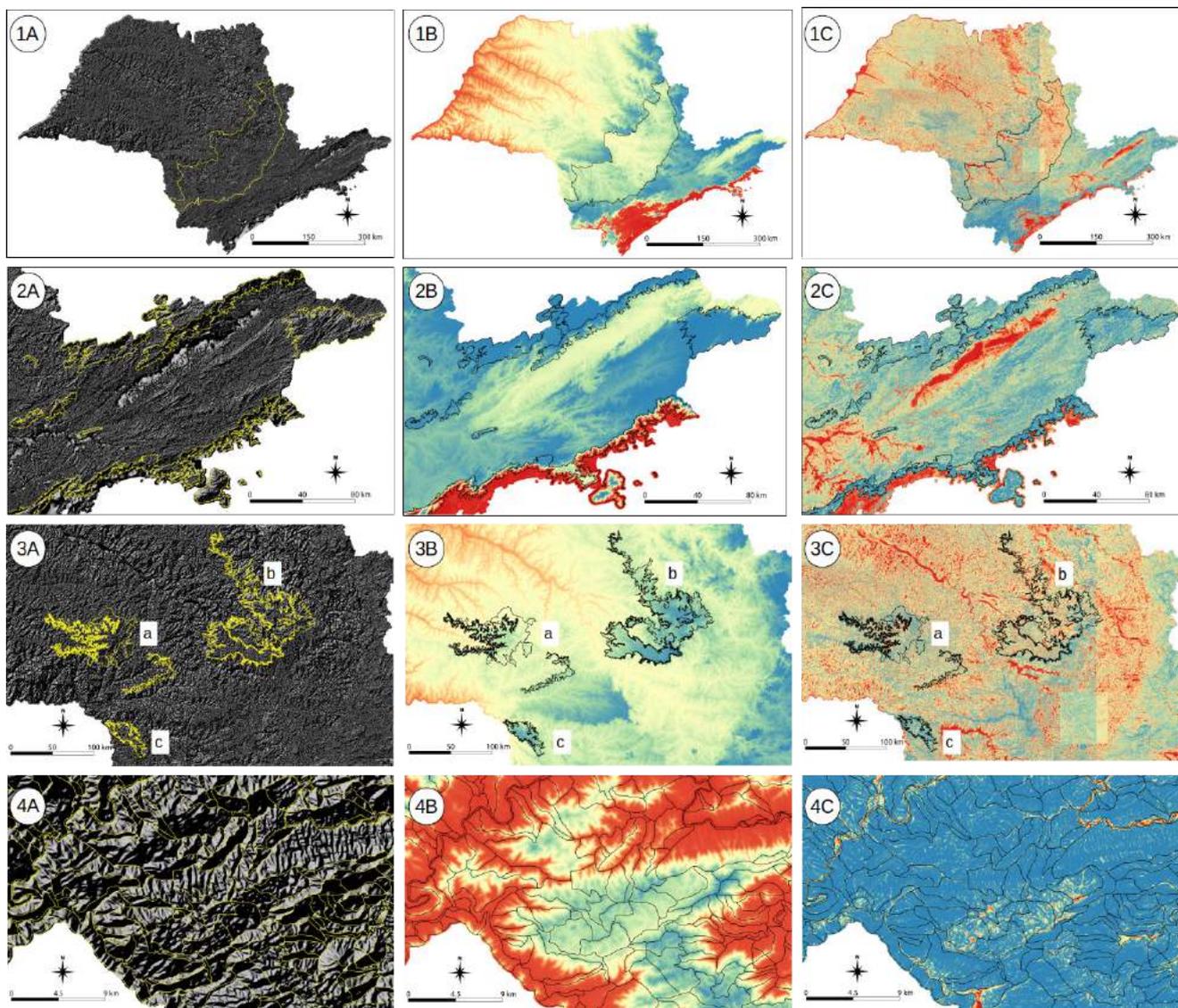


Figura 2. Exemplos de delimitação das unidades do níveis hierárquicos 1 (1A, 1B, 1C), 2 (2A, 2B, 2C), 3 (3A, 3B, 3C) e 4 (4A, 4B, 4C) com apoio de informações de modelo de relevo sombreado (coluna A), altitude (coluna B) e declividade (coluna C). a: Planalto Residual de Marília; b: Planalto Residual de São Carlos; c: Planalto Residual de Sarutaia.

leste do estado de São Paulo (Figura 2-2A, 2B, 2C), do Cinturão Orogênico do Atlântico, do nível hierárquico 2.

No nível hierárquico 3, as unidades morfoesculturais do nível anterior foram subdivididas considerando-se os tipos e formas de relevo associados entre si, diferenciados por sua localização geográfica. Exemplifica-se na Figura 2 (3A, 3B, 3C) as morfoesculturas dos planaltos residuais/escarpas de Marília, São Carlos e Sarutaia, do Planalto Ocidental Paulista (nível hierárquico 1) e Planaltos e Escarpas do nível hierárquico 2.

O Nível Hierárquico 4 o representa os menores compartimentos obtidos nesse estudo, considerando-se o nível de abordagem e escala de análise adotados, compreendendo as Unidades Básicas de Compartimentação. A Figura 2 (4A, 4B, 4C) ilustra um trecho da compartimentação referente ao Nível Hierárquico 4 das UBCs, para a unidade “Cinturão Orogênico do Atlântico”, “Planalto/Escarpas” e “Planalto Escarpas do Ribeira/Turvo”, respectivamente níveis hierárquicos 1, 2 e 3.

Tabela 4. Compartimentos fisiográficos obtidos para cada um dos níveis hierárquicos adotados.

Nível 1 – Unidades morfoestruturais e geotectônicas	Nível 2 – Unidades morfoesculturais e litoestratigráficas	Nível 3 – Unidades de relevo e litotipos	Nível 4 – Unidades Básicas de Compartimentação – UBC
Coberturas Sedimentares do Pleistoceno e Holoceno (Q)	Planícies Fluviais. Depósitos aluvionares associados à drenagem atual (A)	1 Paraná, 2 Paraíba do Sul, Ribeira, 3 Tietê, outros.	UBC1(U1), UBC2(U2), etc.
	Planícies Litorâneas. Depósitos marinhos, fluviais e mistos (L)	1 Iguape-Cananéia, 2 Praia Grande-Peruíbe, 3 Santista, 4 Bertioga, 5 Litoral Norte, outros.	UBC1(U1), UBC2(U2), etc.
	Depósitos coluvionares e de tálus; depósitos colúvio-eluvionares; e coberturas detríticas indiferenciadas (C)	Planaltos, Serras, etc com depósitos coluvionares associados e com referência a localização geográfica (N).	UBC1(U1), UBC2(U2), etc.
Bacias Sedimentares do Terciário (Mioceno e Paleógeno) (T)	Sem subdivisão nesse nível (X)	1 Planalto de São Paulo, 2 Depressão Médio Paraíba, 3 Depressão do Baixo Ribeira, 4. Formação Rio Claro, outros	UBC1(U1), UBC2(U2), etc.
Bacia Vulcano- Sedimentar do Paraná - Depressão Periférica (Paleozóico-Triássico) (D)	Depressão indiferenciada (D), Planaltos, (símbolo P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)	1 Depressão Moji-Guaçu, 2 Depressão Médio Tietê, 3 Depressão Paranapanema, Outros	UBC1(U1), UBC2(U2), etc.
Bacia Vulcano- Sedimentar do Paraná - Planalto Ocidental Paulista (Jurássico-Cretáceo) (O)	Planalto Centro Ocidental indiferenciado (O), Planaltos (P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)	1 Planalto Centro Ocidental, 2 Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto, 3 Planaltos Residuais de Franca/Batatais, 4 Planalto Residual de São Carlos, outros	UBC1(U1), UBC2(U2), etc.
Cinturão Orogênico do Atlântico (Proterozóico) (P)	Planaltos (P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)	1 Planalto da Mantiqueira, 2 Planalto da Bocaina, 3 Planalto de Paraitinga/Paraibuna, outros	UBC1(U1), UBC2(U2), etc.
Corpos D'Água			

4.2 A Caracterização das UBCs – tabela de atributos

Após a delimitação dos polígonos, procedeu-se a caracterização das unidades de compartimentação. Esta etapa foi realizada sobre a tabela de atributos associada às UBCs (*shapefile*), a qual contém a estruturação dos níveis hierárquicos já apresentados na Tabela 4 e suas classes de atributos exibidas na Tabela 3. Com base nesta tabela também foram realizados a modelagem e o cálculo do perigo de escorregamento. Inicialmente, foram selecionados os atributos que constituem

fatores de análise na equação do perigo de escorregamento, sendo eles: 1) declividade, 2) índice de foliação, 3) amplitude altimétrica, 4) excedente hídrico, e 5) densidade de drenagem. A Tabela 5 discrimina os atributos de cada UBC associado ao *shapefile*.

Nas tabelas também foram incluídas informações sobre os valores das classes e do índice de perigo, obtido conforme os procedimentos detalhados no item 3.3. A inserção destas informações permite atualizações ou revisões dos atributos e critérios de obtenção dos mapas a partir de processamento automático.

Tabela 5. Tabela de atributos associada às UBC (*shapefile*).

Coluna	Descrição
NIVEL_1	Unidades morfoestruturais
NIVEL_2	Unidades morfoesculturais
NIVEL_3	Unidades morfoesculturais classificadas segundo a localização geográfica
NIVEL_4	Unidade Básica de Compartimentação - UBC
DECLIV_MED	Declividade média em graus
AMPLIT_ALT	Amplitude altimétrica em metros
E_HIDR_MED	Média do excedente hídrico em milímetros
DDREN_MED	Média da densidade de drenagem em metros/m ²
DECLIV_N	Declividade média em graus normalizada
E_HIDR_N	Média do excedente hídrico em milímetros normalizada
DDREN_N	Média da densidade de drenagem em metros/m ² normalizada
AMPLIT_N	Amplitude altimétrica em metros normalizada
FOLIACAO	Intensidade de foliação
P_ESC_CLAS	Classes de perigo de escorregamentos para o estado de São Paulo
P_ESC_IND	Índice de perigo de escorregamentos para o estado de São Paulo

4.3 O Mapa de Perigo de Escorregamento

Para ilustrar a aplicação do método, foi feita uma análise de perigo escorregamento. Como produto resultante dessa análise foi gerado o Mapa de Perigo de Escorregamento do Estado de São Paulo, obtido a partir da aplicação das regras de associação dos atributos selecionados, apresentadas nas equações [2] a [4], item 3.3.

O mapa obtido refere-se especificamente ao perigo de escorregamento translacional raso e contempla seis classes de perigo, variando de muito baixo a muito alto, conforme apresentado na Figura 3 e descritas a seguir:

Nulo a quase nulo (P0) – Terrenos planos com probabilidade extremamente baixa a nula de ocorrência de escorregamentos planares esparsos.

Muito Baixo (P1) – Terrenos geralmente pouco inclinados, com probabilidade muito baixa de ocorrência de escorregamentos planares esparsos, de pequenos volumes, associados com acumulados de chuva excepcionais.

Baixo (P2) – Terrenos geralmente com inclinações muito baixas a baixas, com probabilidade baixa de ocorrência de escorregamentos planares esparsos, de pequenos volumes, associados, inicialmente, com acumulados de chuva moderados,

podendo evoluir para escorregamentos de proporções intermediárias, com acumulados de chuva muito altos a altos.

Moderado (P3) – Terrenos geralmente com inclinações moderadas a altas, com probabilidade moderada de ocorrência de escorregamentos planares esparsos, de volumes pequenos a intermediários, associados, inicialmente, com acumulados de chuva baixos, podendo evoluir para escorregamentos de grandes proporções, com acumulados de chuva altos a moderados.

Alto (P4) – Terrenos geralmente com inclinações altas com probabilidade alta de ocorrência de escorregamentos planares esparsos, de volumes pequenos a grandes, associados, inicialmente, com acumulados de chuva baixos, podendo evoluir para escorregamentos de grandes proporções com acumulados de chuva maiores moderados a baixos.

Muito Alto (P5) – Terrenos geralmente com inclinações altas a muito altas com probabilidade muito alta de ocorrência de escorregamentos planares esparsos, de volumes pequenos a grandes, associados, inicialmente, com acumulados de chuva muito baixos, podendo evoluir para escorregamentos de elevadas proporções com acumulados de chuva baixo a muito baixos.

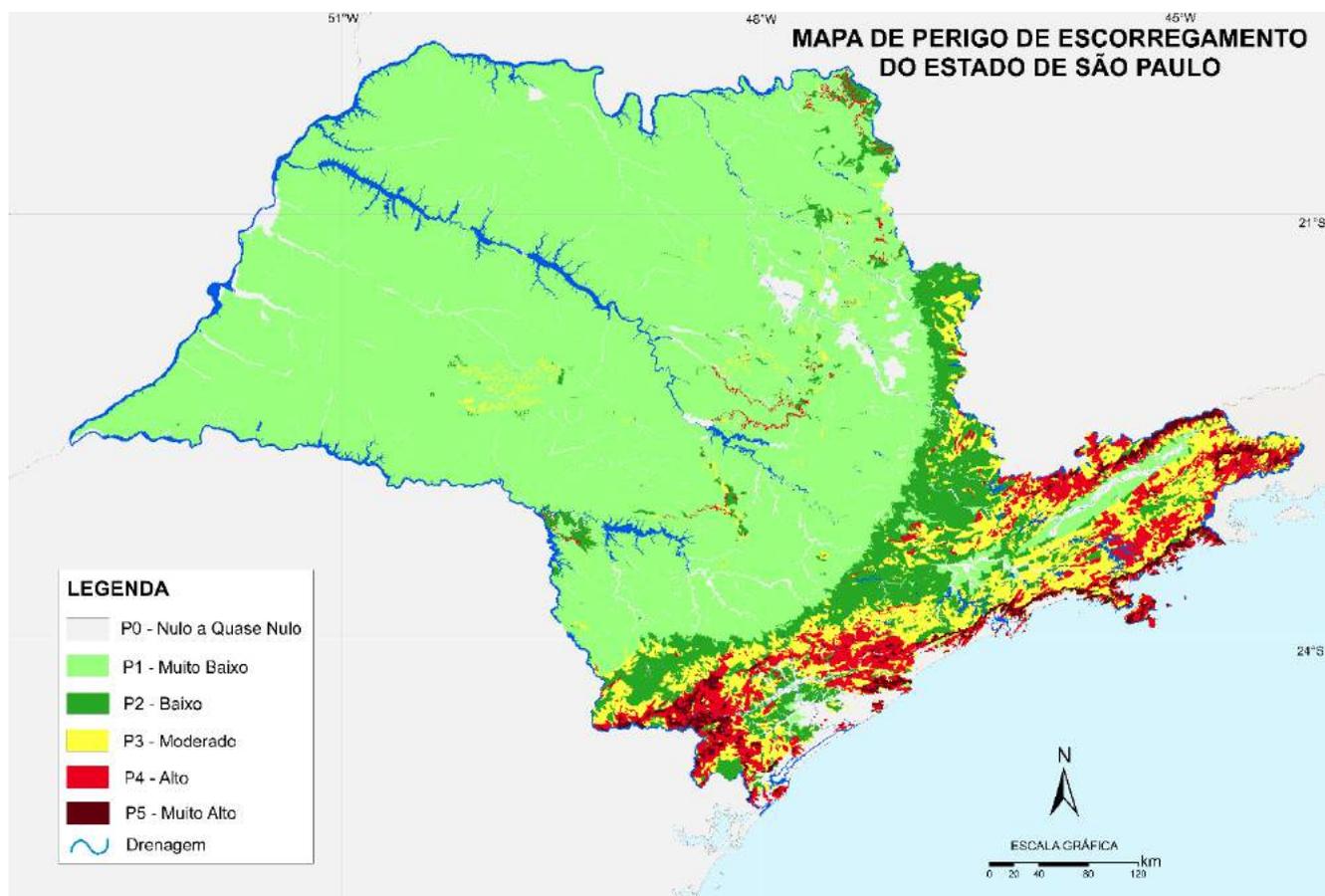


Figura 3. Mapa de Perigo de Escorregamento Planar Raso do estado de São Paulo.

5 CONCLUSÃO

A obtenção de um plano de informação com a compartimentação do terreno em diferentes níveis hierarquizados, obtida de forma contínua e uniforme, para o estado de São Paulo é fundamental para subsidiar avaliações geoambientais a serem incorporadas em atividades e instrumentos de planejamento ambiental territorial. Tal produto é essencial uma vez que representa a diversidade de associações dos materiais e formas que constituem o substrato geológico, geomorfológico e pedológico.

O método proposto, relativo a uma cartografia de síntese em escala regional, baseada em uma compartimentação de caráter fisiográfico e com a obtenção de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC), permite a manutenção de uma base permanente de unidades, que podem ser visualizadas com facilidade no terreno e classificadas para obtenção de produtos geoambientais diver-

sos associados às potencialidades e fragilidades do terreno.

Quanto aos aspectos específicos da abordagem, destacam-se três características importantes: a) os quatro níveis hierárquicos que determinam as UBCs, constituem um produto simples, aberto e flexível, constituído por apenas um arquivo em formato ESRI *shapefile*; b) a obtenção de atributos numéricos expressos na forma de camadas matriciais, permite especializar uma variação contínua de indicadores e índices, cujas médias podem ser extraídas para outros polígonos de interesse a partir de procedimentos de médias zonais; c) a abordagem regional, bem como a abrangência estadual do produto, espacializado de forma contínua, em escala compatível com 1:75.000 e com resolução de 30m, permite a realização de análises regionais com homogeneidade de atributos e de critérios de compartimentação e de caracterização do terreno, e conseqüentemente sua utilização nos mais diversos instrumentos de ordenamento do território.

Destaca-se também, conforme indicado por Vedovello et al. (2002), que, por serem as menores unidades de coleta, armazenamento e análise de dados para a escala do produto, as UBCs podem ser utilizadas como Unidades Básicas de Gerenciamento de Banco de Dados (UBGBDs) em sistemas gerenciadores de informações geográficas. Tal fato permite a obtenção automatizada de mapas derivados, bem como favorece a consulta ao conjunto de atributos e às funções e operações definidas para a obtenção de tais mapas. Permite, ainda, a atualização ou aperfeiçoamento das análises sem a necessidade de geração de novos elementos gráficos, uma vez que a inserção de novos atributos ou parâmetros, bem como a aplicação dos critérios de obtenção dos mapas, estão vinculados aos limites das unidades básicas de compartimentação.

Não obstante a importância das UBCs para o entendimento do território, destaca-se que o estudo do substrato geológico-geomorfológico-pedológico e processos associados constitui uma das etapas para obtenção de uma unidade de análise espacial que exprima toda a complexidade do território (Ferreira & Rossini-Penteado 2011, Ferreira et al. 2013). Como apontado por Vedovello (2000), o estudo do meio físico, quer seja no desenvolvimento metodológico, tecnológico, quer seja nas formas de representação, deve adequar-se à análise integrada com outras variáveis ambientais e socioeconômicas e culturais, especialmente no campo da análise de risco de eventos geodinâmicos. Neste sentido, a associação das unidades cartográficas definidas pelas UBCs com as unidades cartográficas de uso e ocupação do território, definidas como Unidades Homogêneas de Cobertura e Uso da Terra e Padrão da Ocupação – UHCT (São Paulo 2016), permite a obtenção de Unidades Territoriais Básicas – UTB (São Paulo 2017) que apresentam grande aplicabilidade em estudos de zoneamento territorial, tais como: Zoneamentos Ecológico-Econômicos, Planos de Manejo de Unidades de Conservação, Planos Diretores Municipais, dentre outros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao FEHIDRO (empreendimento 2010-CORHI-112) pelo suporte fi-

nanceiro e à FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais pela realização dos trabalhos de delimitação das UBCs (contrato N° 1/2013/CPLA).

REFERÊNCIAS

Armani G.; Tavares R.; Silva M.G. 2007. Mapeamento digital do balanço hídrico climatológico do Município de Ubatuba – SP. In: Simp. Bras. Geografia Física Aplicada, 12, Natal, RN. Anais... Departamento de Geografia/CCHLA/UFRN, p. 747-764. CD-ROM.

Cardoso D., Riedel P.S., Vedovello R., Brollo M.J., Tominaga L.K. 2009. Compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, litoral de São Paulo – uma abordagem metodológica como subsídio a avaliação geotécnica de terrenos. Pesquisas em Geociências, 36(3):251-262.

Cendrero A. 1997. Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones. Naturzale, 12:5-25.

Cendrero A., Frances A., Del Corral D. 2004. Environmental quality indices: a tool for assessing and monitoring geoenvironmental map units. In: Pejon O. & Zuquette L. (eds.), 2004. Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos, SP. p. 525 -564.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). 2008. Base cartográfica digital, escala 1:50.000 – Projeto GISAT. São Paulo: DAEE, 2008.

Fernandes da Silva P.C., Vedovello R.; Ferreira C.J., Brollo M.J., Fernandes A.J., Cripps J.C. 2010. Geo-environmental mapping using physiographic analysis: constraints on the evaluation of land instability and groundwater pollution hazards in the Metropolitan District of Campinas, Brazil. Environmental Earth Sciences, Vol.59, p.124.

Ferreira C.J. & Rossini-Penteado D. 2011. Mapeamento de risco a escorregamento e inundação por meio da abordagem quantitativa da paisagem em escala regional. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia

e Ambiental, 11, 2011, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2011. CD-ROM.

Ferreira C.J., Rossini-Penteado D., Guedes, A.C.M. 2013 O uso de sistemas de informações geográficas na análise e mapeamento de risco a eventos geodinâmicos. In: LOMBARDO M.A. & FREITAS M.I.C (org.): Riscos e Vulnerabilidades: Teoria e prática no contexto Luso-Brasileiro. Cultura Acadêmica-Editora UNESP, São Paulo, p.:155-188.

IAEG – INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. 1970. Reports of two working groups. Bulletin da IAEG, 6, 1970.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1994. Carta Geotécnica do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. São Paulo. (Publicação, 2089). Vol. I e II. 1, 22 p.

Mattos J.T., Pupim F.N., Jiménez-Rueda J.R., Caetano N.R., Coelho J.O.M., Moura C.A., Daitx E.C. 2007. Zoneamento Geoambiental da região de Campo Grande-MS a partir da interpretação de imagens orbitais ETM+/Landsat-7: base para o planejamento ambiental. In: INPE, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, p.5365-5372.

Mitchell C.W., 1973. Terrain Evaluation: the world's landscapes. London: Longman, 221p.

NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems. 2009. ASTER Global Digital Elevation Model V002. 2009, distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC.

Ohara T., Jiménez-Rueda J.R., Mattos J.T., Caetano N.R. 2003. Zoneamento geoambiental da região do alto-médio rio Paraíba do Sul e a carta de aptidão física para a implantação de obras viárias. Revista Brasileira de Geociências, 33(2-Supl.):173-182.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. Estratégia Internacional para Redução de Desastres. Organização das Nações Unidas.

Disponível em <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng.htm>. Acessado em 06 mai 2009.

Perrota M.M., Salvador E.D., Lopes R.C., D'Agostinho L.Z., et al. 2005. Mapa geológico do estado de São Paulo, escala 1:750.000. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil, CPRM, São Paulo, 2005.

Ross J.L.S. & Moroz I.C. 1997 Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo: Departamento de Geografia- FFLCH-USP. 2 volumes, Mapas e Relatório.

SÃO PAULO. Estado. 2014. Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC) do Estado de São Paulo. INSTITUTO GEOLÓGICO; COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014. Ficha Técnica, arquivos digitais formatos pdf e shapefile.

SÃO PAULO. Estado. 2016. Sistema de classificação Unidades Homogêneas de Cobertura da Terra e do Uso e Padrão da Ocupação Urbana (UHCT) e Mapeamento da Vulnerabilidade de Áreas Urbanas de Uso Residencial/comercial/serviços a Eventos Geodinâmicos do Estado de São Paulo. INSTITUTO GEOLÓGICO; COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL/ SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016. Ficha Técnica, arquivos digitais formatos pdf e shapefile.

SÃO PAULO. Estado. 2017. Sistema de classificação “Unidades Territoriais Básicas” (UTB) e mapeamento de risco de áreas urbanas de uso residencial/comercial/ serviços à eventos geodinâmicos do estado de São Paulo. INSTITUTO GEOLÓGICO, 2017. Ficha Técnica, arquivos digitais formatos pdf e shapefile.

Soares P.C. & Fiori A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícias Geomorfológicas, 6(32):71-104.

Tominaga L.K., Ferreira, C.J., Vedovello R., Tavares R., Santoro J., Souza C.R.deG. 2004. Cartas

de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas. In: Pejon O. & Zuquette L. (eds.), 2004. Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos, SP. p.: 5-216.

Valeriano M.M. 2008. TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE, 2008. Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>.

Vedovello R. 2000. Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs. Tese de Doutorado. IGCE, UNESP, Rio Claro. 154p.

Vedovello R., Riedel P., Brollo, M.J., Hamburger D.S., Camargo, A.A.X. 2002. Modelagem e arquitetura de um sistema gerenciador de informações geoambientais (SGIG) como produto de avaliações geológico-geotécnicas. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, Ouro Preto, 2002. Anais, São Paulo: ABGE, 2002. CD-ROM.

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS GRATUITAS DE SENSORES REMOTOS PARA ANÁLISE DE RISCOS DE MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO CÓRREGO ALVARENGA, SÃO BERNARDO DO CAMPO, SÃO PAULO

USE OF REMOTE SENSORS FREE IMAGES FOR ANALYSIS OF MASS MOVEMENTS RISK IN
ALVARENGA STREAM BASIN, SÃO BERNARDO DO CAMPO, SÃO PAULO

DANIELLE BLAZYS CORREA

Universidade Federal do ABC; Santo André, São Paulo, Brasil, danielle.blazys@aluno.ufabc.edu.br

KÁTIA CANIL

Universidade Federal do ABC; Santo André, São Paulo, Brasil, katia.canil@ufabc.edu.br

RESUMO ABSTRACT

Esse artigo apresenta uma discussão sobre potenciais contribuições do uso de imagens de satélite gratuitas para o Brasil, sendo eles o *Landsat-8*, *Sentinel-2* e *CBERS-4* para análise de risco de movimentos de massa a partir de alvos de interesse sobre a superfície analisada. Esses alvos de interesse corresponderam a cicatrizes de deslizamentos, fluxos concentrados de água, vegetação e padrões urbanos de ocupação. A avaliação deu-se a partir da comparação e fotointerpretação de composições coloridas nos canais RGB com bandas do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético, em escala variável entre 1:2.000 e 1:80.000, tendo a bacia do córrego Alvarenga, em São Bernardo do Campo- SP como área de estudo. No contexto do risco dos movimentos gravitacionais de massa, conclui-se que a aplicação da tecnologia de sensoriamento remoto possui contribuições indiretas e relativas. Dentre os três satélites investigados, os de maior resolução espacial (*CBERS-4* e *Sentinel-2*) forneceram melhores resultados, bem como as composições com bandas no infravermelho, nos quais destacam-se as contribuições para reconhecimentos preliminares do território na construção de cartas geotécnicas e na mudança de uso e cobertura de solo com alterações a partir de 40 metros de extensão. A gratuidade de acesso aos dados e registros

This paper presents the potential contributions in using free satellite images available for Brazilian territory, namely *Landsat-8*, *Sentinel-2* and *CBERS-4*, for risk assessment of mass movements from established targets of interest on the surface. These targets of interest correspond to landslide scars, concentrated water flows, vegetation and urban occupation patterns and dynamics. The evaluation was based on the comparison and photointerpretation of colored compositions in the RGB channels with bands in visible and infrared electromagnetic spectrum, on a variable scale between 1:2.000 and 1: 80,000, considering the Alvarenga stream basin in São Bernardo do Campo- SP as the study area. In the context of the risk of mass gravitational movements, it is concluded that the application of remote sensing technology has indirect and relative contributions. Among the three satellites investigated, the ones with higher spatial resolution (*CBERS-4* and *Sentinel-2*) provided better results, as well as the compositions with bands in the infrared, in which contributions to territory preliminary recognition for construction of geotechnical charts stand out and in the change of use and land cover with changes from 40 meters. The free access to data and systemic historical records of the territory and the

históricos sistêmicos do território e a possibilidade de combinação de bandas multiespectrais de regiões do espectro eletromagnético fora da faixa do visível são atributos relevantes dessa tecnologia.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Imagens de satélite, Riscos, Movimento de Massa, Bacia do córrego Alvarenga.

possibility of combining multispectral bands of regions of the electromagnetic spectrum outside the visible range are relevant attributes of this technology.

Keywords: Remote Sensing, Satellite images, Risks, mass movement; Alvarenga watershed.

1 INTRODUÇÃO

Para Cardona et al (2010), o risco de um desastre possui um aspecto contínuo, enquanto o desastre é um de seus muitos “momentos” ou “manifestações”, o produto concreto das interações complexas entre o mundo físico, os ambientes naturais e artificiais, o funcionamento e o desenvolvimento das sociedades humanas. O risco é considerado como o passo anterior ao desastre, uma abstração e possibilidade ou probabilidade menor que 100% de algo negativo percebido, sendo essa percepção também responsável por influenciar o comportamento social de quem com ele convive (Veyert, 2007).

Os movimentos gravitacionais de massa, que por milhares de anos remodelam a superfície do planeta, tornam-se desastres quando tal processo geológico do meio físico interrompe abruptamente o funcionamento normal de uma comunidade, onde o ser humano perde a capacidade de resistir às forças determinadas pelo processo (Di Gregorio; Saito; Sausen, 2015; Warner, 2018). As interrupções impostas podem ocorrer direta ou indiretamente sobre as vidas e saúde dos membros expostos daquela comunidade, seus meios de subsistências e/ou fluxos. Quando ocorrem com frequência, colocam à prova a capacidade de recuperação dessa comunidade, podendo necessitar de assistências externas (Cardona, 2007; UN, 2016).

De acordo com dados coletados entre 1991 a 2010 pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, houve um expressivo aumento nos registros de eventos geológicos, bem como no protagonismo dessa tipologia de desastres como causa fatal no território brasileiro, além de perdas socioambientais e econômicas. O atlas aponta os movimentos

de massa como responsáveis por 15,6% de mortes de desastres registradas no período, atrás apenas dos eventos de enxurrada (58%) A nível global esse crescimento também é observado: com base em dados analisados entre 1980 e 2016, Coutinho e Ramos (2018), indicam o aumento de mais de 150% na ocorrência dos movimentos de massa, estando estes vinculados às maiores frequências de ocorrência de variadas tipologias de eventos extremos. Cenários futuros indicando altas probabilidades no aumento de frequência desses eventos foram apontadas no quinto relatório do IPCC (AR5, 2014).

No entanto, é possível e necessário se antecipar quanto a consolidação dos desastres de movimentos de massa a partir do reconhecimento de seus componentes, suas inter-relações e padrões, de forma a orientar tomadas de decisão referentes às dinâmicas de uso e cobertura do solo e diminuindo o risco de desastres por meio da governança. Abordagens holísticas e multidisciplinares de avaliação de riscos de movimentos de massa permitem afirmar que os componentes, elementos causadores e impactados dos riscos de desastres não se distribuem uniformemente no espaço e tampouco nos grupos sociais e que são sintomas de problemas de desenvolvimento ainda não resolvidos (Nogueira, 2002; Veyret, 2007; UNISDR, 2018; IPCC, 2018; Jacobi e Sulaiman, 2018). Considerando o território como elemento central de gestão dos riscos, a análise e monitoramento dos componentes e sua respectiva representação cartográfica é uma das linhas básicas de ação do poder público no tema (Colômbia, 2010; Galera, 2016)

Os desastres ou o grau de risco de desastres, incluídos os movimentos de massa, interagem, portanto com as condições de vulnerabilidade

(que corresponde à exposição ao processo e à capacidade de enfrentamento pelo acesso à múltiplos recursos), ocasionando danos com diferentes graus de intensidade. Ameaça é o processo, fenômeno ou atividade humana que pode ocasionar danos na vida, na saúde humana, aos bens ambientais ou materiais, na organização social e econômica. Ela é caracterizada pelos atributos de localização, intervalo de tempo, intensidade, frequência e probabilidade, podendo ser combinada em suas origens. Têm-se então que a interação entre os componentes constituintes de uma ameaça também pode potencializar a magnitude final do risco juntamente com os componentes de vulnerabilidade. Dessa combinação forma-se uma complexa e extensa gama de cenários de desastres possíveis (Cardona et al, 2010; Sausen e Lacruz, 2015; UN, 2016). Para Cardona (2007), existem aspectos da vulnerabilidade dependentes da ameaça e outros que não, mas agravam a situação. Nogueira (2002), afirma que o gerenciamento do risco pode melhorar os aspectos da vulnerabilidade, reduzindo, por consequência, a magnitude do risco.

A qualificação do risco de desastre “natural”, como usualmente o risco de movimentos de massa é classificado, indica apenas que a força motriz desencadeante ou o meio de onde provém o processo corresponde a um ou mais dos seguintes componentes: geológico, hidrológico, meteorológico, climático, sejam eles induzidos ou não (Augusto Filho e Cerri, 1990; Sausen e Lacruz, 2015; Van Westen; Castellanos; Kuriakose, 2008; Jacobi e Sulaiman, 2018). Há ainda certa dificuldade (ou negação) em compreender o desastre como resultado de uma construção social, econômica e política, e não somente como um evento natural (Canil e Nogueira, 2018). Veyret (2007), indica que no contexto dos riscos, o homem pode desempenhar um papel dual: vítima e agressor do ambiente.

A Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) divide os movimentos gravitacionais de massa em quedas, tombamentos e rolamentos de blocos, deslizamentos, corridas de massa e subsidência e colapso. Lopes e Arruda Junior (2015) somam a tipologia de rastejos dentre os movimentos de massa. Cerri (1993), Wold e Jochim (1989) Apud Nogueira (2002), indicam que o uso do termo escorregamento e processos correlatos costumam

também ser usados de forma genérica para uma ampla variedade de processos, envolvendo o conjunto de movimentos gravitacionais de massa. Infanti e Fornasari Filho (1998), Wold e Jochim (1989) Apud Nogueira (2002), abordam que deslizamento especificamente consiste no movimento descendente e rápido de volume de solo, vegetação ou rocha geralmente bem definido, cujo centro de gravidade desloca-se para baixo e para fora de um talude, seja ele natural, de corte ou de aterro, enquanto os rastejos, por exemplo, caracterizam-se por velocidades de deslocamento mais baixas. Nogueira (2002), adiciona que no caso dos deslizamentos urbanos, também podem ser movimentados depósitos artificiais (lixo, aterros, entulhos) ou materiais mistos.

As causas e agentes de movimentos de massa podem atuar de formas internas (com a redução da resistência interna do material), externas (aumento da tensão de cisalhamento, associadas a sobrecargas e vibrações) e intermediárias (efeitos no interior do talude como liquefação espontânea, rebaixamento rápido do nível do lençol freático e erosão remontante). Os agentes dividem-se em predisponentes (fatores naturais intrínsecos às condições geológicas, pedológicas, geométricas e ambientais, excluindo-se ações antrópicas) e efetivos (elemento diretamente responsáveis pela deflagração dos movimentos, como chuvas, fluxos concentrados de água, vibrações) sendo este classificado em preparatórios ou imediatos (Van Westen; Castellanos; Kuriakose, 2008; Lopes e Arruda Junior, 2015).

Nogueira (2002) e Farah (2003), indicam relações entre os processos de instabilização com as formas de ocupação urbana as quais podem intensificar instabilizações predisponentes no terreno ou induzir novas situações. Como exemplo das ações antrópicas nos processos de ocupação com possíveis efeitos na estabilidade do meio físico são considerados o desmatamento e retirada de cobertura vegetal, criação de novos caminhos preferenciais e concentrações de águas pluviais ou servidas, vazamentos e infiltração subsuperficial de redes de abastecimento ou de esgoto, presença de fossas, criação de depósitos de tálus, execução de cortes expondo solos susceptíveis ao fenômeno e aterros não compactados em geometrias inadequadas, deposições de lixo e entulho. Ainda

podem ser adicionadas as vibrações produzidas por tráfegos pesados, explosões, etc. (Nogueira, 2002; Farah, 2003). A metodologia de elaboração dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMMRs) estabelecida pelo extinto Ministério das Cidades (2006), por exemplo, possui caráter qualitativo de avaliação. A experiência dos técnicos encarregados da análise é considerada para estimar a probabilidade da consolidação dos processos e potenciais consequências danosas e indicadores de instabilidade (trincas, estruturas inclinadas, cicatrizes de processos), suscetibilidade do terreno aos processos geodinâmicos, registros de ocorrências prévias, possíveis consequências do acúmulo e energia das águas, condições de vulnerabilidade estrutural e social e a percepção dos moradores e técnicos locais são levados em consideração. E por fim, setores espacializados em escala de detalhe (no mínimo 1:2000), que considerando esses aspectos são classificados em graus de risco: R1 (baixo), R2 (médio), R3 (alto) e R4 (muito alto), o que implica na indicação de alternativas e prioridades de intervenção no setor.

Assim, locais com pré-disposições às instabilidades influenciados por precipitações intensas (causa imediata e deflagradora), como regiões serranas em clima tropical úmido, onde os intemperismos químico e bioquímico são mais intensos, concentram eventos de movimentos de massa (Molina, Cardoso, Nogueira, 2015; Lopes e Arruda Junior, 2015). No Brasil, destaca-se sua porção oriental, em especial nas regiões Sul e Sudeste, onde aflora o embasamento cristalino e o escudo atlântico, exemplificado pela formação da Serra do Mar. Essa porção recebe chuvas intensas e duradouras especialmente nos meses de entre novembro a março. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, entre 1991 e 2012, 93,6% das ocorrências de movimentos de massa ocorreram nessa porção. Vale mencionar que, em função de área atingida e frequência de ocorrência, esse desastre não é tão significativo se comparado às demais tipologias (Wolle e Carvalho, 1989 Apud CEPED-UFSC, 2013).

Para análise das componentes mencionadas e, portanto, dos riscos presentes numa localidade, o uso das ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem ser grandes aliadas na prevenção e mitigação de desastres no processo

de gerenciamento de riscos. O uso de dados de sensoriamento remoto obtido por satélites orbitais combinados com dados espaciais obtidos em campo ou com produtos de geoprocessamento, além de contribuir com a implantação de políticas públicas intersetoriais de forma eficaz, podem ser utilizados para democratizar o acesso à informação (Galera, 2018). As imagens de satélite registram dados da superfície terrestre de forma periódica e sistêmica, de regiões inclusive pouco acessíveis e carentes de dados geoespaciais. Apesar da crescente disponibilização das imagens de sensoriamento remoto de maneira gratuita e do grande potencial para estudo e monitoramento do ambiente terrestre, elas são ainda sub exploradas, onde nem 10% do seu potencial para gestão de desastres é utilizado (Florenzano, 2002; Sausen e Lacruz, 2015). Sausen e Lacruz (2015) apontam esse como um recurso técnico indispensável na investigação de escorregamentos.

Para adicionar um significado aos dados brutos que formam as imagens de sensoriamento remoto, é necessário interpretá-las. O uso de altas resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais, e escalas de trabalho adequadas tornam a identificação de alvos de interesse mais direta e fácil, com implicações nos custos de recursos computacionais necessários. Além disso, elementos básicos presentes em imagens, denominados elementos de fotointerpretação, devem ser considerados no processo de análise, de forma a ampliar a extração de informações dos objetos, áreas ou fenômenos. Correspondem aos elementos de fotointerpretação os aspectos de tonalidade/cor, textura/rugosidade, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização. Por exemplo, nas imagens em níveis de cinza, objetos mais próximos ao branco refletem mais luz, enquanto os próximos ao preto absorvem-na no devido ao processo de interação entre o material e a radiação eletromagnética da fonte luminosa. Da mesma forma, a cor dependerá da quantidade de energia refletida naquela banda ou intervalo espectral e da mistura entre cores em processo aditivo de bandas. O recurso de composição de bandas nos canais RGB é realizado com os dados de determinadas bandas dos satélites, tornando mais fácil interpretar imagens coloridas visto que o olho humano identifica cem vezes mais cores que os tons de cinza (Florenzano, 2002; Meneses e Almeida, 2012).

Assim, considera-se que as imagens de satélite possam contribuir no atendimento de, por exemplo, exigências estabelecidas pela Lei Federal nº 12.608/12, que dispõe sobre a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, incluindo a elaboração das Cartas Geotécnicas (de suscetibilidade, aptidão à urbanização e risco), obrigatórias para determinados municípios, e o monitoramento e atualização das áreas de risco. As cartas geotécnicas são representações gráficas e espaciais e instrumentos técnicos, voltados para a representação dos processos do meio físico (movimentos de massa, dinâmicas do uso do solo) e dos riscos e demandam atualizações periódicas. Elas reúnem ou são construídas a partir de uma série de informações geoespaciais que auxiliam na compreensão dos processos, no caso dessa pesquisa, dos movimentos de massa. São também usadas para subsidiar, por exemplo, a elaboração de planos de ação como os Planos Diretores Municipais – PDM; Planos Preventivos de Defesa Civil – PPDCs; e Planos Municipais de Redução de Riscos – PMRRs, destacando que o município de São Bernardo do Campo possui esses tipos de instrumentos.

Esse artigo tem como objetivo, portanto, levantar, analisar e discutir a contribuição do uso de imagens gratuitas de satélites do território brasileiro para o reconhecimento de alvos de interesse sobre a superfície terrestre que indicam situações potenciais para ocorrência de movimentos de massa, a partir da exposição desses elementos, a exemplo de: indícios pretéritos de movimento de solo como histórico de deslizamentos, concentração de fluxos de água superficial, presença de cobertura superficial de vegetação e dinâmicas urbanas de ocupação. Alguns outros importantes elementos indutores de riscos vinculados à geomorfologia, profundidade de solos e águas sub-superficiais exigem interpretações realizadas a partir de imagens oblíquas e/ou de análises sub-superficiais (Metternicht; Hurni; Gogu, 2005; Van Westen; Castellanos; Kuriakose, 2008), e não serão consideradas devido à característica de ortogonalidade das imagens utilizadas. Assim, é reconhecido já de antemão que o método proposto tem suas limitações para identificação de determinados aspectos do meio físico.

Os satélites selecionados para avaliação de imagens neste trabalho corresponderam ao

CBERS-4, Landsat-8 e Sentinel-2, com bandas em regiões do visível e do infravermelho, de forma a acessar as maiores resoluções espaciais fornecidas pelos satélites e um maior detalhamento da heterogeneidade do ambiente urbano (Florenzano, 2002). Uma nova versão da série CBERS foi lançada em órbita após o início do trabalho, entretanto seus dados não se encontravam disponíveis em tempo hábil para inclusão nas análises até a realização da pesquisa. A sistematização de várias das especificações técnicas dos satélites trabalhados, incluindo os intervalos de cobertura do espectro eletromagnético por bandas, bem como de suas versões anteriores podem ser encontradas em Blazys (2020). A bacia do Córrego do Alvarenga no município de São Bernardo do Campo-SP foi utilizada como unidade territorial de análise e a escolha dos períodos de obtenção de imagens teve como ponto de partida os períodos com mais registros de deslizamentos na bacia, coincidentes com os meses de maiores precipitações no município.

1.1 A bacia do córrego Alvarenga

A bacia do córrego Alvarenga (Figura 1), localizada a noroeste do município de São Bernardo do Campo, é cortada pela rodovia dos Imigrantes e pelo trecho sul do rodoanel e possui área de 24,6 km². Seus limites de expansão refletem um padrão regional de autoconstrução em porções ambientalmente frágeis como encostas acidentadas nas proximidades da Serra do Mar e em áreas de mananciais, resultante de uma tendência espacial de expansão urbana com carências de infraestrutura (Denaldi et al, 2018; Maricato, 2015). Caracteriza-se por uso e cobertura do solo mistos, com porções residenciais de baixo a alto padrão construtivo (incluindo assentamentos precários e chácaras de veraneio), comércios e galpões de depósito, além de remanescentes de vegetação de Mata Atlântica. O trecho abaixo da cota 747 m da represa está inserido na Área de Proteção e Recuperação de Mananciais da Billings de acordo com a Lei nº 13579/09.

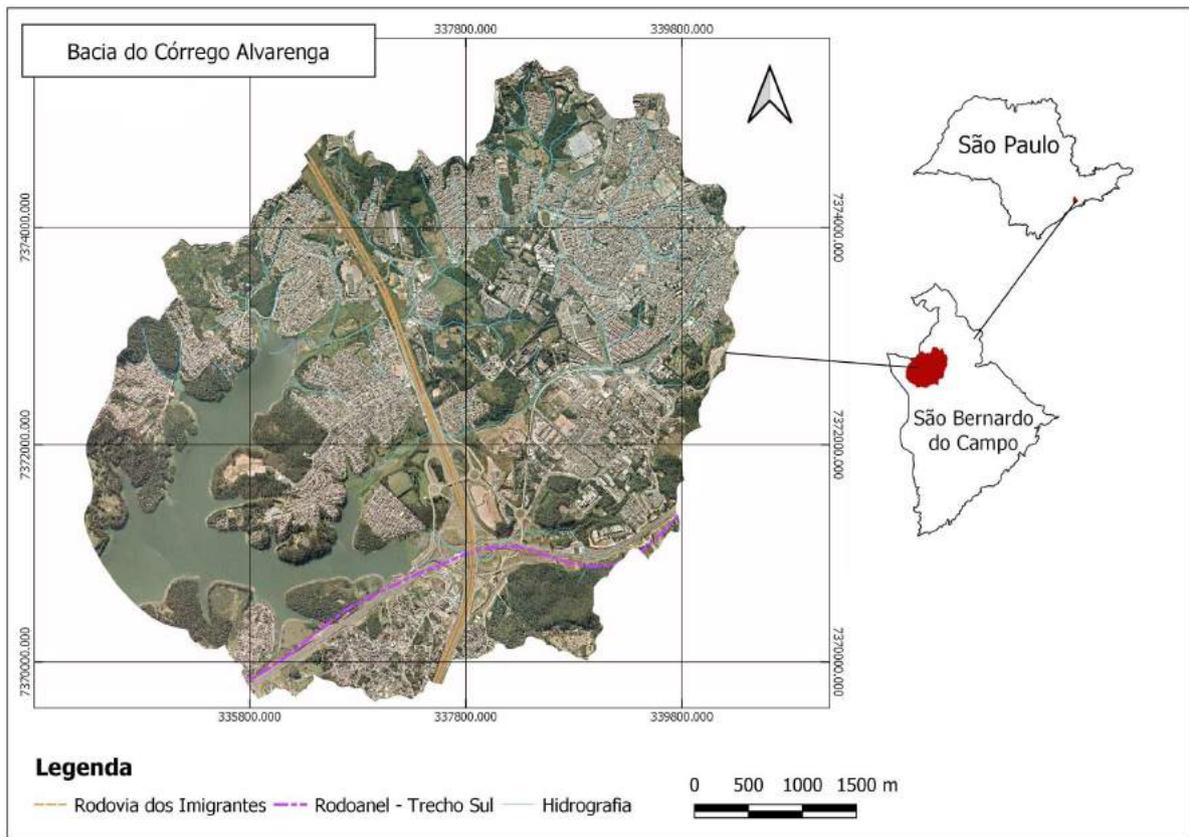


Figura 1. Localização da Bacia do Córrego Alvarenga, São Bernardo do Campo (Fonte: elaborado por Blazys, 2020. Dados extraídos de Laboratório de Gestão de Riscos – LabGRis UFABC 2020, IBGE, 2019, PMSBC, 2020)

De acordo com mapeamento realizado pela Secretaria de Habitação (SEHAB, 2010), a bacia do córrego Alvarenga é a região que mais concentra assentamentos informais no município, onde estão registrados cerca de 40 setores de riscos delimitados a partir da atualização do PMRR de 2015 (PMSBC, 2020). Parte deles sobrepõe-se a relevos de morrotes e morros com declividades superiores a 30°, sustentados por granitos alterados, migmatitos e gnaisses, consideradas áreas de média e alta suscetibilidade a processos geodinâmicos (deslizamentos), conforme a Carta Geotécnica de Suscetibilidade (IPT; CPRM, 2014). Dos registros de ocorrências de deslizamento, solapamento, alagamento e inundação, 70% estão relacionados aos deslizamentos com base nos dados entre 1997 e 2014 da Defesa Civil Municipal (PMSBC, 2020). É fato que, apesar da realização de uma série de instrumentos técnicos e ações voltadas ao gerenciamento de riscos de deslizamentos no município e, portanto, na bacia, que incluem as cartas geotécnicas, obras de contenção, dentre outros, as ocorrências de deslizamentos continuam ocorren-

do (Nogueira; Oliveira; Crus, 2014). Dessa forma, os esforços para prevenir e se antecipar a tal tipo de desastre merecem ser complementados e aprofundados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma série de dados espaciais foram levantados para as análises presentes nesse estudo, incluindo dados vetoriais e matriciais, além de registros de ocorrências da Defesa Civil Municipal, posteriormente tratados e especializados para a bacia com o complemento denominado MMQGIS. Dados vetoriais, para reconhecimento geral do território foram obtidas a partir das bases do IBGE (limites políticos), CPRM (Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade aos Processos do Meio Físico e de Aptidão à Urbanização), da PMSBC (zoneamento municipal), do LabGRis-UFABC (bacias hidrográficas, assentamentos precários, setores de risco, hidrografia, altimetria, declividade e curvas de nível de 5 m).

Os satélites selecionados que dispõem de imagens gratuitas correspondem ao CBERS-4, Landsat-8 e Sentinel-2. As imagens de satélite foram obtidas pelas plataformas de imagens de satélite site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), do programa Copernicus da Agência Espacial Europeia (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) e do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>). Para a análise e processamento de dados espaciais, incluindo as imagens de satélite, foram utilizados os softwares Google Earth e QGIS com os complementos *QuickMap Services* e *MMQGIS*.

Para a identificação das contribuições das imagens de Satélite no reconhecimento de alvos de interesse que indicam a possibilidade de ocorrências futuras de processos do meio físico com vistas a contribuir com a gestão de riscos de movimentos de massa, definiu-se como critério a utilização de imagens gratuitas para o território brasileiro de satélites ativos e períodos de imageamento em função dos registros de deslizamentos da Defesa Civil de São Bernardo do Campo.

As ocorrências atendidas entre janeiro 2016 a outubro de 2019 contemplam 40 classes diferentes de ocorrências, sendo seis delas associadas às riscos de movimentos de massa, possíveis fatores de umidade indutores, riscos e processos consolidados. Em relação a essas seis classes, os anos de 2019 e 2016 foram os que somaram maior número de ocorrências, com 41 e 29 registros, respectivamente, seguindo o mesmo padrão do município (321 e 171 registros). Vale ressaltar que os dados de 2019 não incluíram os meses de novembro e dezembro, o que indica que 2019 pode ter apresentado um total de registros ainda maior. Ao longo dos meses do ano, os registros de tais ocorrências comportam-se de forma similar aos meses de maiores volumes pluviométricos: os meses entre janeiro e março apresentam maior número de registros de ocorrências que nos demais meses.

As ocorrências de deslizamentos somadas aos registros de risco desses processos, representaram 63% das seis classes na bacia; 18% e 16% referem-se, respectivamente, à infiltração de rede de água e infiltração de águas pluviais. Foram buscadas, portanto, imagens obtidas após 23 de março de

2019 (um dia após o último registro de março na bacia, no caso das imagens do ano de 2019) e após 01 de abril de 2016 (um dia após o último registro de março na bacia, no caso das imagens de 2016), livres de nuvens e pré-tratadas (ortorretificadas e com correção atmosférica) pelas instituições fornecedoras de imagens.

Como sistema de projeção padrão, foram estabelecidas as coordenadas UTM, no DATUM SIRGAS 2000, fuso 23S no processamento de dados. Foram realizados testes com as imagens de 2019 de criação de composições coloridas verdadeiras e falsa-cor, nas quais as bandas de máximas resoluções espaciais dos satélites foram consideradas e priorizadas. A testagem de composição de bandas é uma opção indicada por Meneses e Almeida (2012), uma vez que as possibilidades de combinações podem ser muitas a depender das quantidades de bandas fornecidas por um satélite. As diferenças de reflectância entre materiais indicados em curvas espectrais podem ser levados em consideração para escolha das bandas. Os critérios de descartes de alguns dos testes variaram entre colorações das composições muito destoantes das demais dos projetos de análise, baixo contraste entre alvos de interesse, deslocamento de bandas exigindo etapas adicionais de correção de imagens, resoluções espaciais inferiores a testes com composições de cores semelhantes, combinação adequada porém alcançada após a etapa de análises e sem tempo hábil para inclusão no estudo (mas que recomenda-se avaliações futuras). As composições descartadas podem ser visualizadas em Blazys (2020).

Na etapa de construção das composições de cor verdadeira, as imagens foram também fusionadas com as bandas PAN disponibilizadas pelos respectivos satélites. O processamento da imagem de 2016 foi feito apenas considerando as composições de 2019 que obtiveram melhor desempenho para a caracterização de alvos de interesse: indícios pretéritos de movimento de solo como histórico de deslizamentos, concentração de fluxos de água superficial, presença de cobertura superficial de vegetação e dinâmicas urbanas de ocupação, vinculados aos materiais de solo exposto, água, vegetação e concreto e cimento, respectivamente. Como técnica de realce de imagens, foi realizada a expansão ou ampliação histográfica de contraste.

As análises das imagens ocorreram em escala variável entre 1:2.000 e 1.80.000 pela comparação visual simultânea a cada 4 ou 3 imagens agrupadas em 4 diferentes lotes de interpretação, denominados como projetos. Os projetos comparados deveriam apresentar composições coloridas com características semelhantes entre si quanto às respostas espectrais dos materiais dos alvos, visualmente perceptíveis pelos padrões de cor que as composições retornassem. Além da cor, outros elementos de fotointerpretação (localização, forma, textura, padrão e contexto) foram considerados para extração de mais informações de cada um dos 4 tipos de alvos, vinculados aos processos e dinâmicas no território, relacionando-as às circunstâncias de riscos de movimentos de massa. Assim foi verificado como cada alvo pode ser reconhecidos nos dados gratuitos fornecidos por diferentes satélites.

Camadas de dados vetoriais para apoio e validação na interpretação foram utilizadas durante as análises sendo eles de hidrografia, limites de bacia, atendimentos da defesa civil para deslizamentos entre janeiro e março dos anos de 2019 e 2016. Imagens fornecidas pelo *Google Earth* também foram utilizadas. Foram obtidas amostras de referência nas escalas de 1:16.000 (para águas e ambientes urbanos) e 1:4.000 (para amostras dos demais materiais) para validação e redução de subjetividade das conclusões da análise interpretativa de imagens. Nesse trabalho são apresentadas apenas parte das amostras, visto que a totalidade delas foram apresentadas na pesquisa de Blazys (2020). Alguns outros elementos referentes a forma do terreno, relevantes na avaliação

de riscos, como relevo, geomorfologia e tipologia de solos, não serão considerados, uma vez que o estudo pretende observar as potencialidades dos sensores ópticos em condições de ortogonalidade na identificação de alvos de interesse, e tais elementos, devem ser analisados com informações tridimensionais e oblíquas, como os produtos gerados por radar, ou com resoluções espectrais e espaciais de sensores superiores aos disponíveis gratuitamente (Florenzano, 2002, Metternicht; Hurni; Gogu, 2005; Van Westen; Castellanos; Kuriakose, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Definidos os critérios para *download* de imagens, os satélites então selecionados para avaliação de imagens corresponderam ao CBERS-4, Landsat-8 e Sentinel-2. As informações das imagens mais próximas ao dia 23/03/2019 (data do último registro de deslizamento na bacia do Alvarenga no mês de interesse) com menor cobertura de nuvens e com os níveis mais elevados de pré-processamento por parte da instituição fornecedora da imagem encontram-se na tabela 1. Além das informações por satélite referentes às datas de coleta de imagens e níveis de pré-processamento aplicados, também são indicadas as bandas das composições coloridas testadas e selecionadas e descartadas em cada projeto, ou, em cada lote de interpretação e comparação das imagens. As resoluções espaciais de cada banda utilizada também se encontram na tabela 1.

Tabela 1: Relação de informações referentes ao download de imagens e composições realizadas em cada projeto, sendo as selecionadas apresentadas com fundo cinza (Fonte: elaborado por Blazys, 2020. Dados extraídos de NASA, INPE, ESA)

Satélite	Data da Imagem	Nível de pré processamento	Projeto 1			Projeto 2			Projeto 3			Projeto 4				
			Cor Verdadeira			Falsa Cor 1			Falsa Cor 2			Falsa Cor 3				
			R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B		
Landsat-8	26/03/2019	L1TP	4	3	2	5	4	3	6	5	4	5	6	4		
			30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m		
										4	5	2	5	2	6	
										30m	30m	30m	30m	30m	30m	
										4	5	3	7	6	4	
										30m	30m	30m	30m	30m	30m	
												7	4	2		
Cbers-4	25/03/2019	L4		3	4	2	4	3	2	3	4	2	4	1	2	
				10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	5m	10m
				7	6	5	8	7	6	4	1	2	4	1	3	
				20m	20m	20m	20m	20m	20m	10m	5m	10m	10m	10m	5m	10m
				3	2	1	1	4	3	4	1	3	8	10	4	
				10m	10m	5m	5m	10m	10m	10m	5m	10m	20m	40m	10m	
				3	2	5	1	3	2				1	10	4	
Sentinel-2	23/03/2019	L1C		10m	10m	20m	5m	10m	10m				5m	40m	10m	
				4	3	2	8	4	3	4	8	3	8	8a	4	
				10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	20m	10m	
										6	8a	3	12	11	4	
										10m	20m	10m	20m	20m	10m	
							5	7	3	12	4	2				
							20m	20m	10m	20m	10m	10m				

Conforme a tabela 1, a primeira imagem disponível correspondeu à do Sentinel-2, que também apresenta a maior resolução temporal em relação aos demais satélites, beneficiando a precisão na detecção temporal de alterações da superfície terrestre. Quanto ao nível de pré-processamento, apenas as imagens CBERS-4 não passaram por processamento de ortorretificação digital antes de serem disponibilizadas na respectiva base de imagens. Os agrupamentos das composições coloridas geradas e selecionadas são apresentados de maneira heterogênea em termos de quantidade, uma vez que a seleção dos testes não se deu de maneira linear e os agrupamentos dos projetos se construíram na ordem que determinadas composições puderam ser atingidas pelos testes. Dessa maneira, por exemplo, o projeto 4 comparou imagens de dois e não dos três satélites, sendo des-

considerados os testes obtidos pelas imagens do Sentinel-2: a composição colorida compatível com as demais do projeto não havia sido alcançada naquele momento. A composição cor-verdadeira para a imagem CBERS-4 não foi alcançada na resolução de 10 metros, máxima resolução desse satélite no intervalo do visível. Uma das composições CBERS-4 alcançadas no projeto 1 foi aproveitada para o projeto 3. A limitação da geração de composição cor verdadeira pelo CBERS-4 se deve ao fato de que, na resolução de 10 metros (sua máxima resolução), o satélite não fornece bandas com o comprimento de onda azul. As composições descartadas podem ser visualizadas em Blazys (2020).

A fusão de imagens com bandas pancromáticas de maior resolução espacial foi realizado apenas para composições alcançadas no projeto 1

nos satélites Landsat-8 e CBERS-4, uma vez que o Sentinel-2 não apresenta banda PAN de maior resolução espacial do que as bandas já consideradas para o visível e ainda que o CBERS-4 tenha gerado apenas composição falsa cor na resolução de 10 metros. No projeto 2, onde a vegetação foi representada pela coloração vermelha, em todas as composições o canal R de *red* foram ocupadas por bandas no infravermelho-próximo (NIR), o G (*green*) por bandas da faixa do vermelho e o B (*blue*), por bandas do verde. Já no projeto 3, as imagens Sentinel-2 e CBERS-4 foram compostas por bandas do vermelho no canal R, infravermelho no canal G e verde no B. No momento inicial dos testes, para o Landsat-8, o mais próximo que se gerou da coloração predominante foi usando as bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), NIR e vermelho, respectivamente nos canais R, G e B. Para o projeto 4, foi escolhido um dos testes descartados do projeto anterior (CBERS-4, 4-1-2), e uma composição próxima foi obtida para as imagens Landsat-8, com a banda do SWIR no canal G no lugar da PAN, usada na composição CBERS-4. Como já dito previamente, essa tonalidade não foi alcançada para imagens Sentinel-2.

De 32 composições geradas com as imagens de março de 2019, apenas 12 foram selecionadas para avançarem na etapa seguinte de fotointerpretação dos elementos de cobertura do solo que podem contribuir em análises de risco, sendo duas delas as fusionadas com as bandas pancromáticas fornecidas pelos respectivos satélites. Antes de apresentar os resultados referentes aos alvos de interesse, vale apontar que as composições colori-

das Sentinel-2 selecionadas resultaram em arquivos mais pesados, com cerca de 0,7 GB da cena sem recortes, enquanto o Landsat-8 e CBERS-4 geraram arquivos entre 0,3 e 0,4 GB. Os ângulos de visada (FOV) cobrem extensões territoriais de 290, 185 e 60 quilômetros, e resoluções de 10, 30 e 10 metros, respectivamente. Essas diferenças devem ser consideradas a depender da área total de interesse, da capacidade de processamento em termos de tempo, recursos tecnológicos e humanos e dos tamanhos mínimos dos alvos de interesse. A fusão com as bandas PAN resultou na imagem Landsat-8 um produto de 15 metros de resolução e na CBERS-4, de 5 metros, em arquivos de tamanhos de 2 e 5GB respectivamente, de cenas também não recortadas. Maiores detalhes de FOV e tamanhos das composições descartadas podem ser encontradas em Blazys (2020).

As figuras 2 a 4 apresentam algumas amostras das composições coloridas geradas e selecionadas para os projetos de 1 a 4, onde alguns elementos podem ser observados de forma geral, como os tons e texturas retornados pela vegetação, por materiais de ambiente construído, formas e padrões urbanos (ruas, quarteirões, adensamento de assentamentos). Na figura 2, as amostras apresentam 5 dos 17 pontos de ocorrências de deslizamento espacializados, obtidos a partir dos dados de atendimentos registrados pela defesa civil, referentes ao período entre janeiro e março de 2019. Um polígono delimita uma mancha escura nas proximidades das ocorrências perceptível em apenas algumas das imagens.

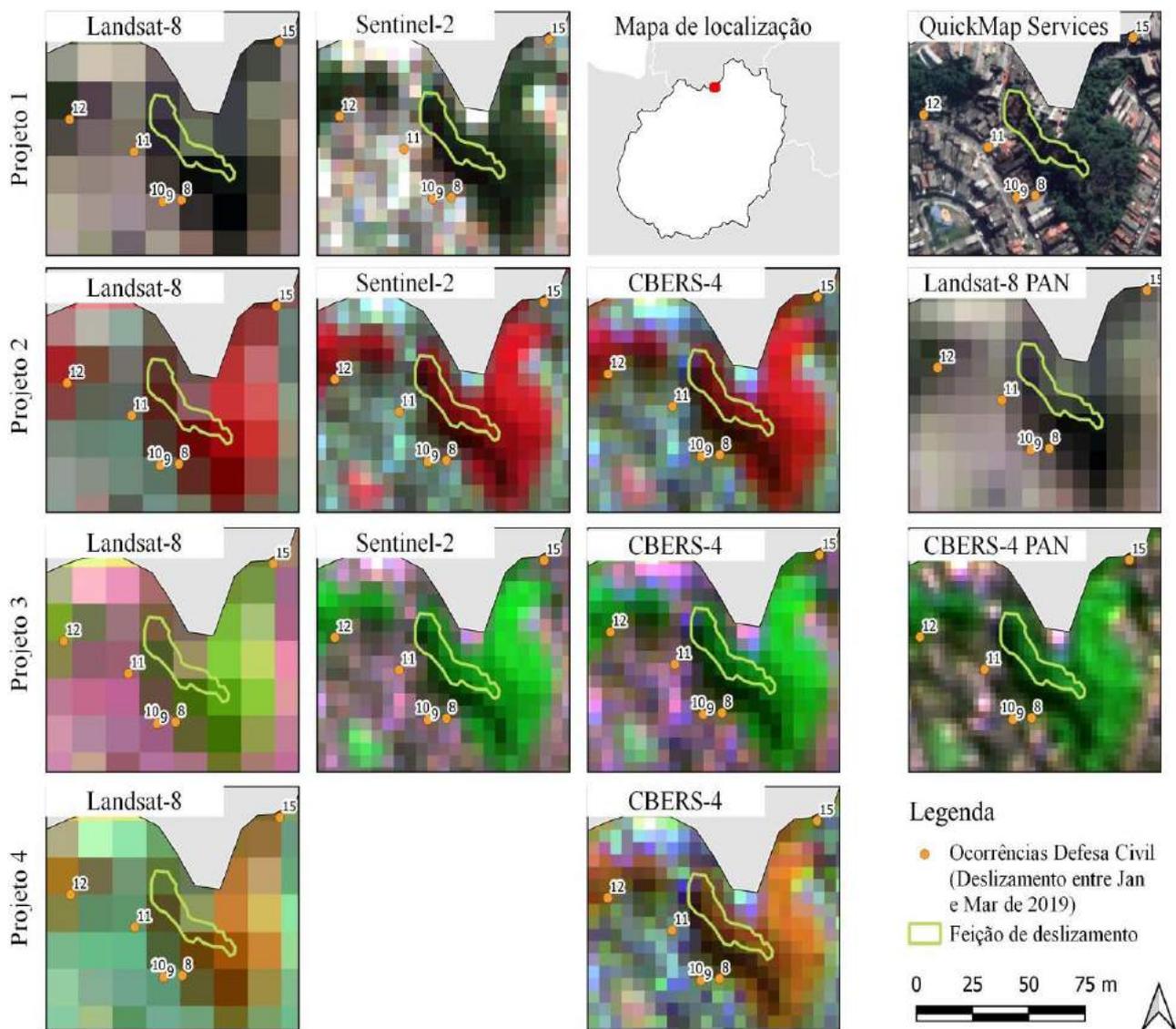


Figura 2. Amostras das composições coloridas geradas e selecionadas para os projetos 1 a 4, evidenciando observações próximas às ocorrências de deslizamento registradas pela Defesa Civil Municipal.

A figura 3 apresenta amostras com limites definidos de solo exposto e de um material construtivo, um telhado metálico, enquanto a figura

4, em menor escala, contempla porções úmidas e padrões urbanos.

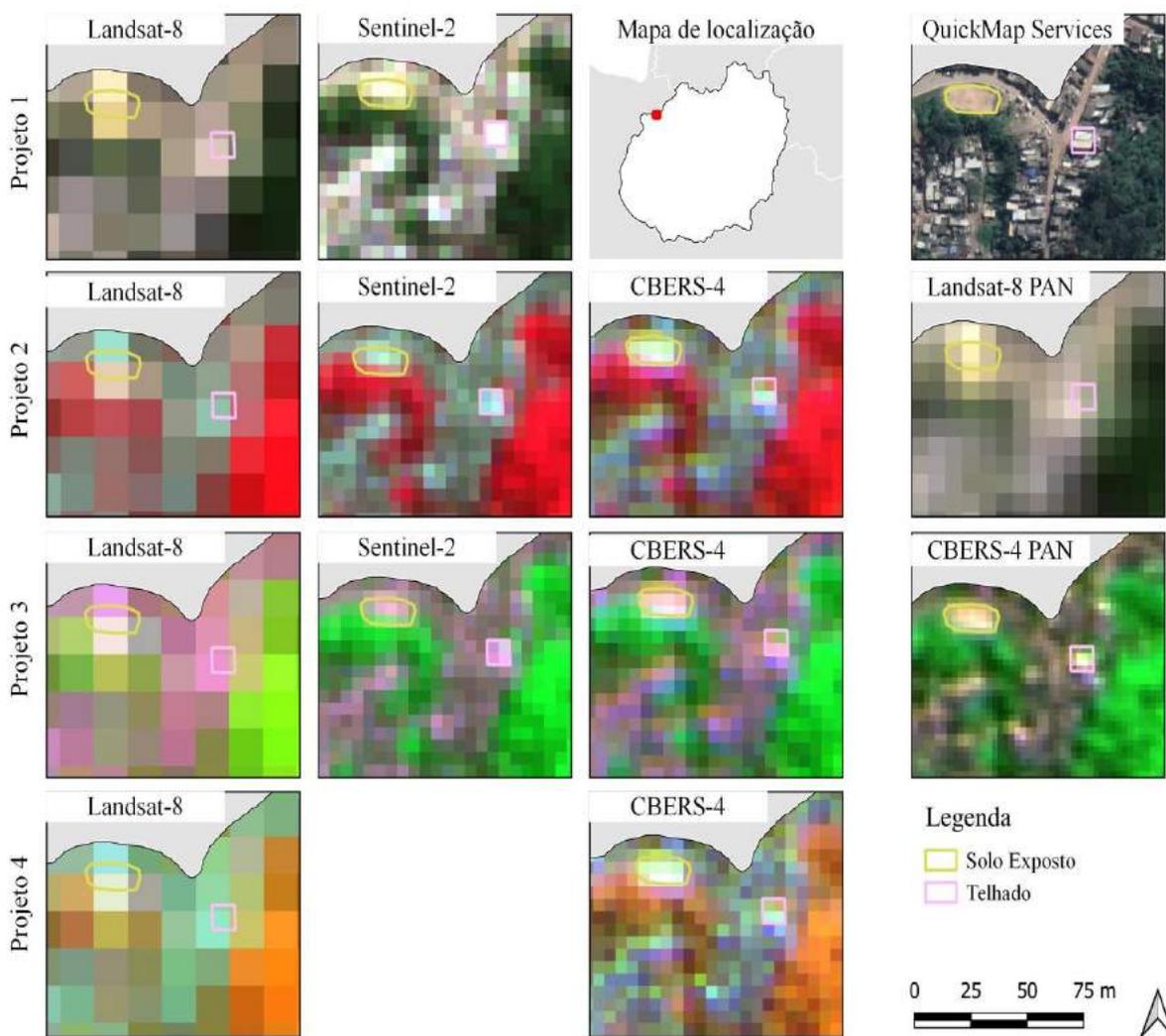


Figura 3. Amostras das composições com limites de solo exposto e material construtivo (tipo metálico).

Em suma, cicatrizes de deslizamento vinculadas aos registros de ocorrências da defesa civil entre janeiro e março não puderam ser identificadas com segurança em nenhuma das composições coloridas, seja nas resoluções de 30 ou 10 metros, tampouco nas imagens fusionadas. O que se observa a partir das imagens dos satélites considerados, são alguns casos de manchas escuras nas proximidades ao ponto da ocorrência, como mostra a figura 4, que podem representar também efeitos de sombra (de habitações do entorno ou vegetação de porte alto) ou de alta absorção e baixa reflexão da radiação incidente devido a presença de umidade no solo. Essas manchas escuras não são distinguíveis da mesma maneira em todas as imagens: observa-se que nas composições que

usaram bandas de resoluções espaciais maiores e que retornam comprimentos de onda a partir do infravermelho (CBERS-4 e Sentinel-2 dos projetos 2 ao 4), elas se apresentam com mais destaque. Ou ainda, com mais contraste com o entorno de vegetação. Em visita de campo ocorrida em novembro de 2019, foi possível confirmar que a mancha escura da figura 2 especificamente coincide com uma cicatriz de deslizamento, de dimensões aproximadas de 22 m de largura e 97,0 m de comprimento e área de 1540 m². O limite da mancha escura é mais bem definido na imagem CBERS-4 fusionada. Ao espacializar os dados das ocorrências na bacia, nota-se que há uma maior concentração de ocorrências próximas aos divisores de água.

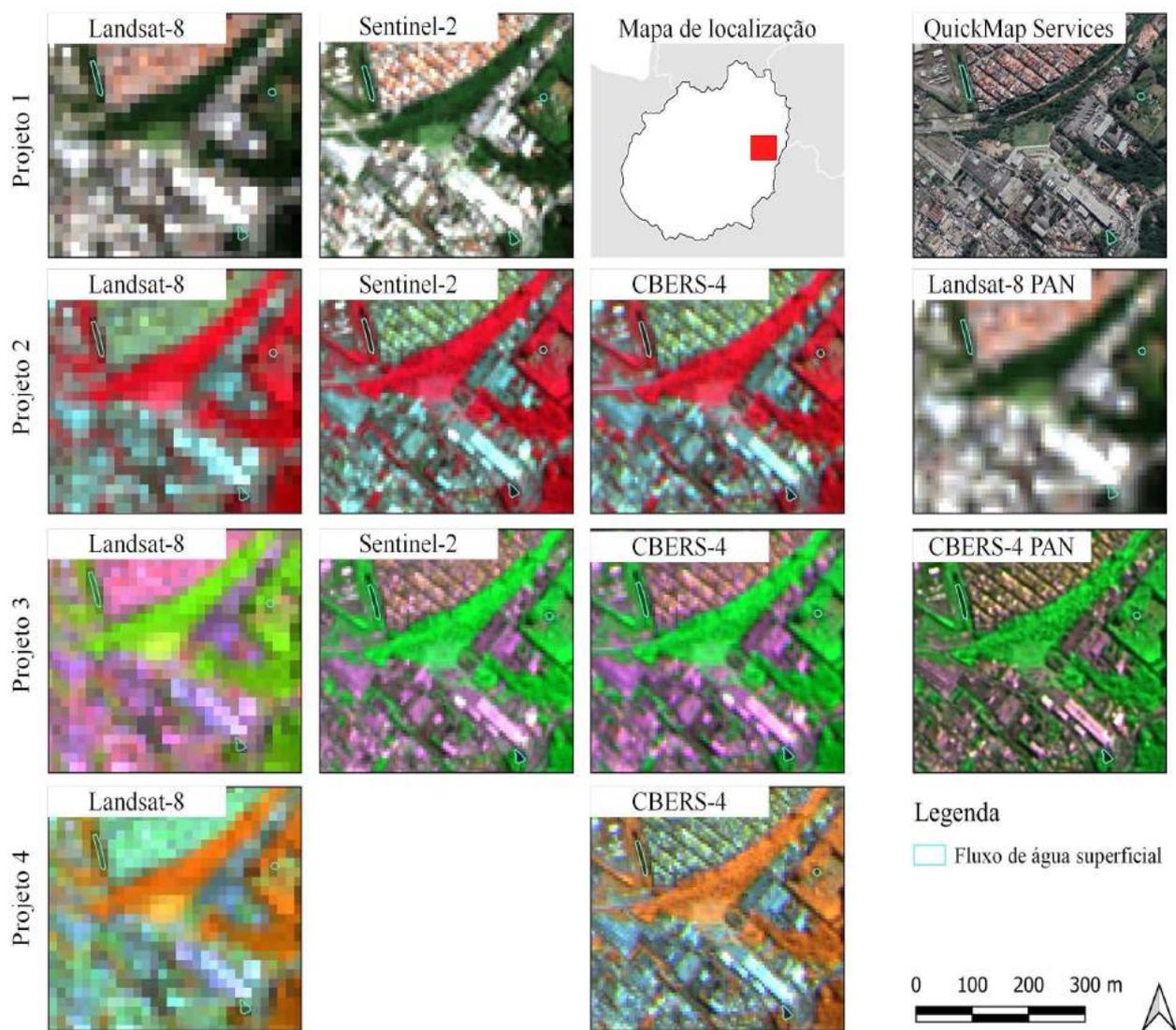


Figura 4. Amostras das composições com porções úmidas e padrões urbanos.

Outra possibilidade quanto à limitação na identificação das feições deve-se ao fato dos endereços das ocorrências atendidas corresponderem ao local de solicitação do atendimento e não precisamente na coordenada do polígono de deslizamento. É importante, portanto, direcionar esforços para aumentar a precisão das localizações dos processos em inventários de deslizamentos para desenvolvimento de modelos de previsão mais acurados. Paralelo a isso, a espacialização dos endereços que se deu pelo complemento MMQGIS podem não se apresentar alocadas de forma exata nos pontos criados. Outros elementos que podem indicar a ocorrência de movimentos de massa de menor tamanho e mais sutis que cicatrizes de deslizamento, tampouco puderam ser identificados,

como inclinação de estruturas verticais (árvores, postes), trincas, degraus de abatimento.

Solos expostos, que por dedução, a partir de uma resposta espectral semelhante podem indicar processos de deslizamento (desde que as cicatrizes estejam livres de interferências de sombras e altas umidades), foram também observados. Em todas as composições não fusionadas esse alvo retornou tons claros, com influências de tons quentes nos projetos 1 e 3, e tons frios no 2 e 4. As composições CBERS-4 retornaram saturações mais intensas que os demais satélites. A saturação mais intensa da imagem CBERS-4 pode ser explicada por suas bandas 3 e 6 cobrirem valores superiores de porcentagem de reflectância para o solo relação às bandas Sentinel-2, por exemplo, segundo as assi-

naturas espectrais dos materiais apresentados por Meneses e Almeida (2012) e Bakula (2015). Apesar dos limites de formas aparecerem mais definidos nas imagens fusionadas (assim como nas composições de maior resolução espacial), a saturação e coloração passaram a ficar menos intensas com esse procedimento.

Considerando os entornos nos quais o solo exposto se localiza, as composições apresentam desempenhos distintos para identificação das feições: se inseridos em ambiente urbano construído, destacam-se as composições falsa cor CBERS-4 dos projetos 2 e 3. As demais composições apresentam altas reflectâncias e saturação dos materiais urbanos, reduzindo o contraste entre o solo exposto e o entorno. Alguns materiais no ambiente urbano, mesmo nas composições de melhores desempenho, retornam respostas muito semelhantes com as do solo, como indica a amostra da figura 3. A baixa resolução espacial das imagens Landsat-8 é um limitador para identificação das manchas, em especial nos ambientes urbanizados, marcados pela heterogeneidade e rugosidade de texturas, onde os processos de deslizamentos podem ser graves, mesmo com pequenas áreas de atingimento dada a densidade de elementos expostos, não distinguíveis nesta resolução. Isso confirma o fato indicado por Meneses e Almeida, 2012, que o atributo das altas resoluções espaciais favorece a identificação mais precisa de formas dos alvos imageados.

Telhados de metal ou materiais de cimento assemelham-se ao solo exposto em pixels de alta reflectância, quando a resposta tende ao branco. Nesse sentido, a saturação nas imagens piora a distinção entre alvos. Telhas de barro confundem-se com o solo em pixels pigmentados: a pigmentação é semelhante à do solo. O que pode diferenciá-los são elementos vinculados a forma, textura e padrões. Por exemplo, as cicatrizes de deslizamento tendem a assumir formatos mais orgânicos, arredondados enquanto, que, formatos de solo exposto com limites mais duros e secos, vinculam-se à exposição de solo por interferência antrópica. Exemplos disto são campos de futebol observados. A imagem fusionada do CBERS-4 deixam os limites orgânicos das feições mais evidentes, mas em termos de coloração, esses ainda confundem-se (embora sutilmente menos) com

materiais construtivos (telhados de metal, concreto e barro). Nas composições de maior resolução espacial, portanto, foi mais fácil diferenciar os solos expostos de outros padrões de tipo antrópico dos demais pixels que retornaram tonalidades semelhantes, como os telhados. Quanto menor o tamanho do objeto, mais difícil identificar sua forma real e isso se relaciona com a resolução espacial da imagem.

Em contrapartida, para os solos expostos inseridos em porções de cobertura vegetal, as composições cor verdadeira são as que oferecem mais contraste observável entre os materiais, com destaque à imagem Sentinel-2 que possui resolução espacial de 10 metros. A imagem CBERS-4 do projeto 2 surge como segunda opção, seguido das imagens Sentinel-2 projeto 2 e CBERS-4 do projeto 4, e por último, as composições do projeto 3.

Novamente em relação às sombras, observou-se que ao mesmo tempo em que elas podem ser interferências negativas interpretação de objetos, por ocultar objetos sombreados, as mesmas são responsáveis por conferirem texturas e rugosidade aos padrões do território e diferenciar alturas entre objetos, mesmo que as representações espaciais trabalhadas ocorram em um espaço bidimensional. Assim, dependendo do contexto, sombras podem tornar-se importantes e benéficas. A percepção de profundidade será mais intensa, quanto maiores as resoluções espacial e radiométrica. O efeito de sombras permitiu, por exemplo, a observação sutil de variação de relevo em poucas partes da bacia. A exposição de solos, que ocorrem no nível do chão, pode ser sombreada por árvores, indicando um rompimento de um padrão homogêneo de cobertura vegetal. Caso o aspecto de cor de solo retornado não produza contraste suficiente com o entorno para que seja notada, a sombra que confere textura passa a ser um elemento extra (ou ainda significar somente diferença de altura entre copas de árvores). A necessidade de identificação de pequenas porções de solo exposto em áreas com contínuo de cobertura vegetal de porte arbóreo é relevante somente se houver necessidade de inventariar deslizamentos antigos em localidades anteriormente não ocupadas e que no momento do mapeamento de riscos de movimentos de massa encontram-se ocupadas.

Em áreas urbanas, diferentes objetos relevantes à análise de riscos podem usualmente ser encontrados num espaço de 10 x 10 metros (tamanho da largura do pixel da maioria das composições), como trincas, pequenas cicatrizes de deslizamento, postes inclinados. Puderam ser identificadas, no entanto, áreas de solo exposto de 282 e 686 m², de 18 e 13 m de largura e 18 e 40 m de comprimento, respectivamente, por exemplo. Sua visualização foi mais evidente na composição cor verdadeira Sentinel-2, pois apresentou um alto contraste com o entorno de vegetação. Outros exemplos de áreas de solos exposto com 600, 826 e 495 m² foram identificados com mais dificuldade, devido o contraste com o entorno prejudicado, inseridos em áreas urbanas devido aos padrões de rugosidades e heterogeneidades.

O comportamento da água a partir da interação com a radiação eletromagnética resulta, de acordo com a assinatura espectral desse material, em reflectâncias que não superam os 15% no intervalo do visível, absorvendo grande parte da radiação incidente nessa região, e absorvendo completamente a partir dessa região. Dessa forma, porções úmidas ou materiais que contenham altos teores de água em sua composição serão observados em tonalidades escuras (figura 4). Como consequência, esse material pode ser confundido com sombras, como foi discutido para as amostras da figura 2. Aspectos de contexto, forma e localização podem ajudar na distinção entre um e outro. Acúmulos de água formando corpos hídricos volumosos, possivelmente perenes, foi o que pode ser identificado com as composições utilizadas.

As imagens compostas pela banda do infravermelho próximo apresentaram mais contraste entre a água vegetação do que nas imagens de cor verdadeira. Na resolução espacial de 30 metros, não é possível identificar o caminho de rios na bacia. Algumas manchas escuras em trechos fragmentados coincidem com o curso d'água e a presença de vegetação contínua em linha sugere que esta corresponda à mata ciliar, podendo ser um indicador de presença de rio. Já nas composições com resolução de 10 metros puderam ser observadas mais linhas escuras na vegetação que coincidem com a linha do curso d'água. Outras não coincidem, que indicam representar sombras. Em trecho urbano, nas composições 10 metros

com banda NIR, observa-se que a drenagem segue a sinuosidade de algumas avenidas, onde em alguns trechos, a vegetação também acompanha o caminho de água não observável, e em outros curtos, a água pode ser observada (como mancha escura). O trecho de rio identificado em área urbana possui 6 metros de largura. Muitos dos rios podem estar ocultos na porção urbana por estarem canalizados e situarem-se debaixo do viário.

A menor massa d'água identificada pela composição Landsat-8 com bandas do NIR possui 4830 m² (figura 4), e 2600 m², enquanto, que, nas imagens de 10 m, a menor área de água possui aproximadamente 400 m². A composição com mais contraste observável entre urbano e vegetação com a água é a Landsat-8 do projeto 3, apesar de sua resolução ser de 30 m. No entanto, um dos testes com imagem Sentinel-2 gerou uma composição correspondente (bandas 5-7-3), em maior resolução espacial, mas em momento posterior a formação dos agrupamentos para o projeto 3 e não foi incluída nas análises. Essa demonstra uma composição relevante para mais investigações de áreas com presença de água. Já as composições de 10 m selecionadas, CBERS-4 e Sentinel-2 do projeto 3, também propiciaram observações de alto contraste, em especial com a vegetação. No projeto 2 e nas composições cor verdadeira, os contrastes observados foram menores. Com a imagem fusionada em 5 metros do CBERS-4 é possível identificar mais linhas escuras que correspondem às presentes no *shapefile* de hidrografia do que na imagem CBERS-4 original. No entanto, algumas das massas d'água dão menor contraste com a vegetação que tem uma tonalidade menos viva e aspecto mais rugoso e confundem-se com sombras.

A cobertura vegetal apresenta um papel relevante nas composições. Ela marca os limites com o espaço urbano e as composições falsa cor, que usam bandas na região do infravermelho, resultam em cores vibrantes para esse material. No caso da vegetação aparecer em vermelho ou laranja, a banda NIR de cada satélite foi alocada no canal vermelho do RGB. No caso de aparecer em verde claro, foi alocada no canal verde. Destacam-se as composições Sentinel-2 e CBERS-4 dos projetos 2 e 3 para observação desse material. A diferença do porte da vegetação arbórea/arbustiva e gramínea pode ser notada em todas composições.

Mas apenas nas de resolução espacial 10m é notada a rugosidade e diferenças sutis de altura entre portes de árvores, com destaque, novamente, às composições que utilizam a banda NIR. Na bacia, o padrão predominante de rugosidade da superfície vegetal é heterogêneo, não estando vinculado, portanto, com atividades agrícolas.

Gramíneas em crescimento dificultaram a visualização de solo exposto nos projetos 2 e 3, pois as colorações vermelha e verde respectivamente, ressaltam-se em sutis surgimentos de vegetação dessas porções de solo. A menor feição observável pelas composições do Landsat-8 nos projetos de 1 a 3 possui área de 590 m², e 390 m² para o projeto 4. Esses exemplos ocuparam área menor que a de 1 pixel da resolução Landsat-8 (30 x 30 m) e podem ser considerados amostras pontuais, que puderam ser visualizadas pois o alto contraste com o entorno favoreceu a observação e o material de interesse, ainda que com área pequena, estava centralizada em relação ao pixel. Para a imagem cor verdadeira Sentinel-2, árvores em contexto urbano podem ser confundida com sombras, pelo fato da tonalidade do verde ser escuro, menos vibrante. Nas composições de 10 metros, as imagens CBERS-4 (projetos 2 e 3) puderam identificar árvores com copa de 70 m². A imagem Sentinel-2 do projeto 3, pode identificar vegetação a partir da área de 105 m² e do CBERS-4 projeto 4, de 180 m². A composição fusionada PAN do CBERS-4 tem condições piores de visualização de pequenas porções de vegetação em áreas urbanas pois as tonalidades para esse material são menos vibrantes.

Em relação aos efeitos de sombras, as composições cor-verdadeira (projeto 1) retornam uma coloração escura para vegetação e o contraste entre áreas sombreadas de não sombreadas é baixo. A resolução espacial de 10 metros evidencia melhor a identificação de sombras, com destaque para composição CBERS-4 (dos projetos 2 e 3), em especial quando estes são em porções de cobertura vegetal. Efeitos de sombreamento por árvores e construções são frequentes nas imagens. A heterogeneidade das áreas urbanas representados por manchas com padrão rugoso nas imagens de satélite, devido às diferentes alturas entre os objetos que os compõem e tipos de materiais, dentre os quais podem se destacar o asfalto, concreto, co-

berturas de metal, telhas de barro, dentre outros. Como indicado por Florenzano (2002), aspectos ligados à urbanização, padrões internos de planejamento, distribuição de áreas verdes caracterizam as cidades e podem ser percebidos nas imagens de sensoriamento remoto e, uma vez que os materiais são variados e os limites e formas de pequenos objetos destoam entre si em áreas pequenas, a resolução espacial é relevante para análise do ambiente urbano. Dessa forma, merecem destaque as imagens geradas pelos sensores CBERS-4 e Sentinel-2 na interpretação dos padrões desse ambiente. Os limites da mancha urbana observados na bacia são mais evidentes nas imagens cor verdadeira, devido ao contraste com a vegetação.

No projeto 1, as composições de cor verdadeira retornam, para viário e asfalto, resposta em cinza escuro enquanto, que, para concreto, retornam tons mais claros não pigmentados (reflectância mais acentuada), coerente com as assinaturas espectrais dos materiais apresentados por Bakula (2015). A porção urbana aparece saturada na composição de cor verdadeira e os materiais de baixa reflectância (viário), podem ser confundidos com vegetação. Assim como as porções de solo exposto, a porção urbana retorna tons claros ao magenta para o projeto 3, e tons claros aos frios para os projetos 2 e 4, sendo as imagens CBERS-4 mais saturadas, nesse caso. Quanto ao reconhecimento dos padrões de ocupação, as imagens Landsat-8 permitiram somente a distinção de blocos desenhados por grandes vias (60 m de largura). Para observação dos elementos internos do espaço urbano, as imagens compostas com banda no NIR e de 10 metros de resolução, são melhores, apresentaram menor saturação que na imagem Sentinel-2 composição verdadeira. Nesses casos é possível notar densidades, desenhos de quarteirões (se regulares e/ou paralelos ou não), ruas a partir de 7 m de largura.

No entanto, os pixels de 10 metros não são suficientes para identificação de limites entre moradias, em especial de moradias de assentamentos informais densos. Telhados escuros em sequência ou linhas de vegetação também podem ser confundidos com o traçado de ruas. Pode-se dizer também que não é trivial distinguir, a partir dessas imagens, áreas de médio e baixo padrão construtivo. Áreas com telhados de telha de

barro sugerem que sejam porções de médio padrão. Galpões mais amplos, com larguras superiores a 15 metros, com respostas semelhantes à solos expostos, puderam ser identificados e delimitados. A imagem fusionada CBERS-4 apresenta elementos significativos para a caracterização da porção urbana, como viários, melhor definidos, facilitando as diferenciações de tecido urbano. Essa composição fusionada ainda não permite distinções a nível de lote. Na porção urbana variações altimétricas no terreno em grandes áreas são ainda mais difíceis de serem percebidas, devidos as heterogeneidades e contrastes internos. Esses contrastes são mais bem percebidos e delimitados nas imagens NIR-RED-GREEN do CBERS-4 e Sentinel-2 (projeto 3). Viário, vegetação e hidrologia, os quais desenham o perímetro urbano e padrões internos, são passíveis de identificação, a depender de seus tamanhos e da resolução espacial do sensor.

A partir dessas avaliações com as imagens de 2019, foi realizada a composição falsa-cor (3-4-2) com imagem de abril de 2016 do satélite CBERS-4 para a comparação das dinâmicas temporais do uso e cobertura do solo. De janeiro a março de 2016, o município registrou somente 4 ocorrências de deslizamentos na bacia e, novamente, nenhuma cicatriz associada aos pontos pôde ser observada. Não foram notadas variações no nível de rios mas notou-se na do reservatório Billings. Foi possível notar o avanço de alguns assentamentos sobre antigas porções vegetadas (como o exemplo próximo ao divisor de águas a noroeste da bacia), novos empreendimentos e porções de crescimento de vegetação. As mudanças no uso do solo foram pouco significativas ao longo desses quatro anos na bacia do córrego Alvarenga. A comparação temporal de imagens ampliou as possibilidades de interpretação do território, evidenciando os aspectos de uso e cobertura que são dinâmicos, além dos estáticos. Blazys (2020) aponta as alterações temporais observadas na bacia de forma espacializada. Sausen e Lacruz (2015), destacam que para o monitoramento de áreas sujeitas a deslizamento é importante a comparação das condições espaciais ao longo do tempo, em especial, na investigação da expansão de deslizamentos ocorridos anteriormente.

Com base na análise apresentada, a bacia do córrego Alvarenga reúne uma série de elementos relevantes que potencializam situações de riscos de movimentos de massa, sejam eles enquadrados como ameaças (ambientais e antrópicas) e vulnerabilidades, ainda que nem todos eles puderam ser caracterizados pelas imagens de satélite, mas verificados em outros materiais e presencialmente. Vale adicionar ainda que as ferramentas cartográficas de gestão aplicadas no município contribuíram para expandir as comparações dos resultados aqui obtidos com outras tipologias de imagens obtidas por outros sensores utilizadas na construção das ferramentas. Essa proposta pode ser aplicada a outros territórios que se encontram em contextos geográficos semelhantes, considerando os aspectos físicos e antrópicos.

A existência das ferramentas cartográficas de gestão de riscos existentes na área da bacia do córrego Alvarenga ressalta a importância da documentação da espacialização dos aspectos físicos, de uso e cobertura de solo e de planos de gestão territorial, devendo servir como exemplo e motivação a ser seguido por outros municípios. Esses materiais, além de contribuírem em construções de políticas públicas mais assertivas para redução de riscos, permitem o desdobramento de outras investigações e pesquisas técnico-científicas apuradas e aprofundadas para diferentes amostras de território, ampliando o leque de possibilidades e detalhamentos entre elementos indutores para formação de áreas de risco.

Dessa forma, após a avaliação dos alvos (cicatrices de deslizamentos prévios e solo exposto, concentração de fluxos de água superficial, presença de cobertura superficial de vegetação e dinâmicas urbanas de ocupação) que fazem parte do contexto das análises de risco de movimentos de massa com produtos fornecidos gratuitamente pelos satélites Landsat-8, CBERS-4 e Sentinel-2 destacam-se:

- I. Reconhecimento sistemático de áreas ocupadas e não ocupadas de um município: Dado relevante para as investigações iniciais de reconhecimento do território para elaboração das cartas geotécnicas de suscetibilidade e aptidão à urbanização, com dados atualizados;

- II. Identificação de áreas prioritárias à conservação: permite a identificação de áreas de conectividade florestal para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização com abordagem ambiental;
 - III. Informações do histórico de ocupação de áreas: indicam os possíveis assentamentos mais ou menos consolidados e consequentemente, com mais ou menos estrutura urbana e apropriação do contexto local pelos moradores. Pode apontar, na setorização de risco, áreas prioritárias a investigações mais aprofundadas;
 - IV. Identificação de avanço de assentamentos: contribui para o monitoramento de novas ocupações em setores de risco mapeados, ou sobre locais suscetíveis aos processos de movimentos de massa, com atualização quase semanal. Indica os vetores de expansão urbana, sendo essa uma informação relevante para definição de área de estudo para a carta geotécnica de aptidão à urbanização;
 - V. Identificação de supressão de vegetação: Contribui para o monitoramento. Vincula-se à interferência antrópica sobre o território e à exposição dos solos a caminhos preferenciais de água. Pode indicar uma futura expansão de assentamentos. Observável a partir de 4 árvores de porte alto;
 - VI. Realização de inventários de grandes deslizamentos pretéritos: Para municípios onde essa sistematização é inexistente ou é incompleta, mais informações podem ser obtidas para grandes deslizamentos (incluindo as geometrias do processo, período de ocorrência) para deslizamentos com comprimento ou largura superiores a 40 m em áreas com cobertura vegetal. Dados do registro de deslizamentos são usados nos diversos tipos/escalas de cartas geotécnicas (susceptibilidade, aptidão e setorização de risco).
- II. Baixa percepção de deslizamentos de médias a pequenas proporções, recorrentes e relevantes em áreas urbanas;
 - III. Dificuldade para identificar de forma segura os fluxos concentrados de água em áreas urbanas com larguras menores que 40 m;
 - IV. Impossibilidade/pouca possibilidade de observação dos indicadores de movimentos de terreno como inclinação de postes, árvores, trincas em muros;
 - V. Pouca segurança para distinção entre sombras e pequenas áreas úmidas em porções urbanas;
 - VI. Pouca possibilidade de observar interferências antrópicas de estabilidade de encostas em nível de lote; e
 - VII. Procedimento custoso em termos de tempo.

Portanto, as imagens de sensoriamento remoto trabalhadas apresentam contribuições no monitoramento e mapeamento de áreas de risco de movimentos de massa, mas de maneira limitada. São possíveis o reconhecimento sistêmico presente e pretérito do território, a interpretação de algumas tendências de uso do solo e poucas informações pontuais em ambientes heterogêneos, no geral, vinculados a remanescentes vegetais. Em casos de tomadas de decisão relativa à gestão dos riscos, estas devem ser complementadas com dados de outras escalas, no entanto, elas podem direcionar investigações mais profundas na tratativa dos riscos e ou suscetibilidade, como por exemplo, orientar investigações de campo para porções específicas do município, e podem ser significativas para locais com alta carência de informações territoriais e com deficiências em bases de dados históricos.

O uso de outros sensores que registram informações da superfície terrestre foram mencionados no processo de produção das cartografias geotécnicas, tais como fotografias de chão obtidas em visitas de campo, ortofotos, fotografias oblíquas aéreas, e até mesmo por meio de veículos aéreos não tripulados (VANTs). É fato que esses produtos possuem alta qualidade, resoluções mais compatíveis para embasar as intervenções de redução de riscos e podem fornecer informações sobre o relevo e outros ângulos e perspectivas de indica-

Dentre as limitações das imagens, faz-se as observações:

- I. Dificuldade na distinção exata de limites entre assentamentos precários e não precários;

dores de risco. No entanto, necessitam de um planejamento prévio para serem obtidas, devem ser atuais, não permitem a composição multiespectral de bandas, não cobrem grandes extensões (nível municipal, por exemplo, exceto as ortofotos), mesmo para pequenas áreas, geram arquivos que necessitam grande volume de armazenamento e raramente contém uma sistematização de registros históricos homogêneos (ângulo de captura). As limitações das imagens Google também utilizadas referem-se especialmente à inflexibilidade de composição de bandas e a baixa resolução temporal se comparado às imagens de satélite, especialmente para as cidades brasileiras de médio a pequeno porte.

Imagens CBERS-4 fusionadas com a banda PAN de 5 metros, que geram informações em escala de maior detalhe (e também demandam a inclusão de mais uma etapa de processamento e maior volume para armazenamento) podem ser usadas em etapas intermediárias entre as investigações mais generalizadas das imagens não fusionadas dos satélites, e as imagens já utilizadas para elaboração dos tipos de cartas geotécnicas aplicadas a risco no município São Bernardo do Campo, no caso a bacia do córrego Alvarenga. Essas composições fusionadas permitem evidenciar os padrões de rugosidade dos tecidos urbanos de forma mais significativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um aspecto relevante quanto ao uso de imagens de satélite deve-se ao fato da disponibilização gratuita desse tipo de dado, organizado sistematicamente e que pode resgatar configurações passadas sobre o território. Destaca-se o programa do satélite Sino-Brasileiro CBERS-4 que apresentou altos desempenhos em relação aos demais satélites estudados para os fins desse trabalho, voltado ao mapeamento e monitoramento de alvos de interesse para avaliação de riscos de movimentos de massa, seguido do Sentinel-2. Mas também é preciso reconhecer que apesar da gratuidade aos dados das imagens de satélites multiespectrais com 10 metros de resolução espacial e taxas de revisita de até 5 dias, o manejo e interpretação desses dados não é um processo trivial. Ele requer conhecimento especializado sobre a tecnologia e seus

princípios físicos de operação, acesso à hardwares e softwares, tempo de experiência do intérprete para obtenção de informações mais apuradas e conhecimento sobre o tema para o qual a tecnologia será aplicada.

No contexto do risco de movimentos de massa, conclui-se que a aplicação da tecnologia sobre alvos vinculados às análises de riscos, possui contribuições indiretas e relativas. Elas apresentaram baixo potencial de caracterização e distinção de elementos condicionantes presentes no ambiente urbano significativos na indução de situações de risco. No entanto, alguns dos seus atributos, em especial referentes às composições realizadas com bandas no infravermelho a 10 metros de resolução espacial, que contribui em especial nas demandas de monitoramento de áreas de risco presentes na Lei nº 12.608/12, merecem ser exaltadas. Esses atributos referem-se à geração automática dos dados territoriais gratuitos e recorrentes para o mesmo ponto da superfície brasileira e a disponibilização dessas bases de dados de informações captadas. A contribuição indireta no contexto do estudo não deixa de ser relevante a depender da situação a qual for demandada: pode suprir a carência de registros históricos e sistematização de bases de dados territoriais deficientes de determinadas localidades e instâncias administrativas e, por cobrir grandes extensões territoriais, contribuir na indicação de onde especificamente devem ser direcionadas e priorizadas investigações detalhadas.

Espera-se, portanto, que a tecnologia continue se desenvolvendo para superar as presentes limitações, mantendo e ampliando a democratização de acessos às informações, e que sejam direcionados esforços, em especial, no aumento das resoluções espaciais e espectrais, em especial às bandas localizadas a partir do SWIR. Esses avanços permitirão ampliar as possibilidades das composições entre bandas espectrais, que a interpretação entre o comportamento de interações entre os materiais e a radiação eletromagnética e sejam ainda mais sofisticadas e extrapolariam os comportamentos atuais das interações mais conhecidos do intervalo espectral do visível.

Outros campos vinculados ao assunto aos quais podem ser direcionadas energias para estudos futuros referem-se à investigação dos indi-

cadadores de áreas de risco aplicados em modelos tridimensionais de terreno, modelagem de identificação automática dos indicadores a partir de reconhecimento de padrões, realização de equação de diferenciação de contrastes entre alvos, de forma a direcionar de maneira mais eficiente, o empilhamento de bandas espectrais para identificação de materiais de interesse a partir de seus valores de refletância. Além disso, a construção de bases com informações geoespacializadas precisas sobre deslizamentos ocorridos é fundamental, em especial, para subsidiar modelagens empíricas mais acuradas.

A escolha da bacia do córrego Alvarenga como amostra territorial de análise foi relevante para permitir que as considerações feitas nessa pesquisa possam ser extrapoladas para outras localidades, dados os aspectos físicos, climáticos, de histórico de ocupação da bacia. As informações sobre esses aspectos foram obtidas por fontes diversas, porém aprofundadas por ferramentas cartográficas voltadas à gestão de riscos de movimentos de massa, que contribuem também na prevenção e mitigação da ocorrência desses processos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Defesa Civil da Prefeitura Municipal de São Bernardo do Campo e ao Laboratório de Gestão de Riscos da UFABC pelo compartilhamento de dados geoespaciais utilizados no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S. AMENOMORI, C. J.; Riscos Geológicos: Aspectos Conceituais. In 1º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1990, p.334-341

BAKULA, K. Multispectral airborne laser scanning: a new trend in the development of lidar technology. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. v. 27. P. 25-44, 2015. Disponível em: <[https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-499bd43b-7a00-4023-](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-499bd43b-7a00-4023-90ca-ebbd659be90)

90ca-ebbd659be90>. Acesso em: 24 mai. 2020

BLAZYS, D.B. **Uso e aplicação de imagens de satélite para o monitoramento de indicadores de áreas de riscos de movimentos de massa na bacia do córrego alvarenga, município de São Bernardo do Campo, SP, 2020.** Trabalho de Graduação (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Urbana) – Universidade Federal do ABC (UFABC), Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas. Santo André, 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: Município de São Bernardo do Campo.** 2014. Mapa. Escala: 1:50.000

BRASIL. Ministério das Cidades; UFABC. **Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização:** instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Rio Grande da Serra e São Bernardo do Campo, Região do Grande ABC, Estado de São Paulo. Santo André: Universidade Federal do ABC. v.2, 2015

CANIL, K.; NOGUEIRA, F. R. Avanços e Limitações: Reflexões sobre a gestão de risco. In SULAÍMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (org.). **Melhor prevenir:** olhares e saberes para a redução de risco de desastres. São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2020.

CARDONA, D. O. **Midiendo lo inmedible:** indicadores de vulnerabilidad y riesgo. 2007. Acesso em: <https://www.desenredando.org/public/articulos/2007/articulos_omar/Midiendo_lo_inmedible_ODC_LaRed.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2020.

CARDONA, O.D. *et al.* **Ciencia para una vida mejor: desarrollando programas científicos regionales en áreas prioritarias para América Latina y El Caribe:** Entendimiento y gestión del riesgo asociado a las amenazas naturales: un enfoque científico integral para América Latina y El Caribe. Rio de Janeiro: ICSU-LAC, v. 2, 2010

COLÔMBIA, Ministerio del interior y de justicia. **Guía municipal para la gestión del riesgo. Programa de Reducción de la vulnerabilidade física del Estado frente a desastres naturales.** Banco Mundial Bogotá: Grupo Emfor. 2010.

COUTINHO, S.; RAMOS, R.R. Desafio Presente: Mudanças climáticas e desastres naturais . *In* SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (org.). **Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de risco de desastres.** São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2020.

DI GREGORIO, L.T.; SAITO, S.M.; SAUSEN, T.M. Sensoriamento remoto para a gestão (de risco) de desastres naturais. *In* SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.) **Sensoriamento remoto para desastres.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FARAH, F. **Habitação e encostas,** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. Coleção: HABITARE/FINEP

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002

GALERA, R. A. **Sistema de informação geográfica aplicado ao Planejamento e à gestão regional de riscos e desastres no Grande ABC – SP.** 2016. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Territorial) – Universidade Federal do ABC (UFABC), Programa Pós-Graduação em Planejamento e Gestão do Território. Santo André, 2016.

GALERA, R. A. Informação Integrada: Sistema de Informação na Gestão de Risco Desastres. *In* SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (org.). **Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de risco de desastres.** São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2020

IPCC, **Climate change 2014: synthesis report.** In: Core, W. T. et al. (Ed.). Contribution of working groups 1, 2 and 3 to the fifth assessment report

of the intergovernmental panel on climate change. Geneva: Switzerland, 2014. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>> . Acesso em: 23 jun. 2020

IPT; CPRM. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000: nota técnica explicativa. São Paulo: 2014. Livro eletrônico. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16588/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf?sequence=1>. Acesso em: 24 mai. 2020

LOPES, E.S.S.; ARRUDA JUNIOR, E.R. Sensoriamento remoto para deslizamentos. *In* SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.) **Sensoriamento remoto para desastres.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015

MENESES, P. R.; ALMEIDA T (org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: UNB, CNPq, 2012. *E-book.*

METTERNICHT, G.; HURNI, L.; GOGU, R. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. **Remote sensing of Environment**, v. 98, n. 2-3, p. 284-303, 2005.

MOLINA, E. A. N.; CARDOSO, A. O.; NOGUEIRA, F.R. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo – SP. **Ciência e Natura**, Santa Maria: Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, v. 37. Ed. Especial, p.46-54, 2015

NOGUEIRA F. R., OLIVEIRA, V.E., CRUS, B.A.L. A implementação local de políticas, programas e legislação em nível federal sobre riscos de desastres: o caso de São Bernardo do Campo, SP *in* 3º SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO, 3. Anais 3º APPURBANA. Belém, 2014.

NOGUEIRA, F.R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos:**

contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal. 2002. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2002.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Lei nº 6238, de 13 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a alteração da lei municipal nº 6.184, de 21 de dezembro de 2011 - Plano Diretor do município de São Bernardo Do Campo; da lei municipal nº 6.222, de 3 de setembro de 2012, lei de parcelamento, uso e ocupação do solo; da lei municipal nº 5.959, de 13 de agosto de 2009...

SÃO PAULO (estado). Lei nº 13.579, de 13 de julho de 2009. Define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings - APRM-B. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13579-13.07.2009.html>>. Acesso em: 24 mai. 2020.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.) **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015

SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (org.). **Melhor prevenir: Olhares e saberes para a redução de risco de desastres**. São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <<http://www.incline.iag.usp>

[br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf](http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/melhorprevenir_ebook.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2020.

UNISDR. **2018 Annual Report**. Geneva: United Nations, 2018

Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Florianópolis: CEPED-UFSC, v. Brasil. 2. Ed., 2013. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>> . Acesso em: 24 mai. 2020

VAN WESTEN, C. J.; CASTELLANOS, E.; KURIAKOSE, S. L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. **Engineering geology**, v. 102, n. 3-4, p. 112-131, 2008.

VEYRET, Y. (org.) **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto. 2 ed. 2007.

WARNER, J. Laços Invisíveis: Cultura e Redução de Desastres. *In* SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R.(org.). **Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de risco de desastres**. São Paulo: IEE-USP, 2018. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13579-13.07.2009.html>>. Acesso em: 24 mai. 2020.

NOSSA HISTÓRIA

O BRASIL E A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO TERRITORIAL E URBANO

GEOLOGY IN URBAN TERRITORIAL PLANNING AND BRAZIL

FERNANDO LUIZ PRANDINI

Geólogo da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A – IPT.

RESUMO

A economia mundial impõe aos países em desenvolvimento, notadamente os situados na faixa tropical e intertropical, uma escala de produção acelerada, onde mais e maiores áreas são solicitadas. A tecnologia utilizada nesta verdadeira gincana econômica, é proveniente em grande escala de países desenvolvidos, cujas condições diferem em muito das apresentadas pelos países em desenvolvimento. Mesmo quando os resultados, a curto prazo, se revelam satisfatórios, a médio e longo prazo, os saldos são no mínimo preocupantes. Ao contrário do que aparenta, os problemas de degradação ambiental, não são exclusivos de países de ocupação antiga. O Brasil, apesar de sua juventude, já apresenta extensas áreas onde a degradação já se instalou. O pouco alarde que tais fatos ainda suscitam, deve-se à baixa densidade e alta mobilidade das popu-

lações de tais áreas. Para bem cumprir o papel histórico reservado ao Brasil, urge a elaboração de um arsenal tecnológico, no qual as técnicas para o melhor uso territorial têm, sem sombra de dúvida, uma posição de destaque. Um novo ramo da Geologia, a Geologia de Planejamento, com algum retardo, se introduz hoje no Brasil. A participação da geologia em planejamentos territoriais e urbanos requer para sua implantação o uso de tecnologia adequada ao nosso meio físico e nossas condições de país em processo de desenvolvimento. Os obstáculos para a implantação deste novo ramo da geologia de engenharia devem ser vencidos a curto prazo, para permitir o uso responsável dos recursos naturais, garantindo vida longa e útil aos recursos não renováveis e aproveitamento criterioso dos recursos renováveis.

1 USO DAS TERRAS TROPICAIS, UMA COLONIZAÇÃO INADEQUADA

As condições ambientais herdadas do processo inicial de colonização são hoje críticas, tornando onerosas diversas atividades de ocupação territorial, que no início da implantação se mostravam lucrativas e florescentes. O advento de recursos tecnológicos que permitem empreendimentos cada vez mais arrojados, envolvendo a utilização de áreas e recursos financeiros sucessivamente maiores, com a solicitação de benefícios cada vez mais premente, não permite as margens de erro tradicionalmente aceitas.

O preço do erro, além da perda do capital investido, pode ser o aniquilamento dos recursos naturais (depauperação dos solos, esgotamento das águas, modificações climáticas). Isso provoca a ruína de populações inteiras que, com o abandono das atividades produtoras e consequentes problemas sociais, causam pesados ônus à administração do país. A repetição de insucessos do passado no uso territorial seria, atualmente, catastrófica.

A erosão elimina, ano após ano, grandes parcelas de solo arável, dificultando, ou mesmo impedindo, atividades agrícolas, ocupação urbana e obras de transporte. O consequente assoreamento dos cursos d'água e reservatórios prejudica

a pesca e navegação continentais e compromete hidrelétricas e sistemas de abastecimento d'água. Movimentos de terra em grandes extensões, ou mais localizados (erosões, escorregamentos), apresentam saldos catastróficos, quando atingem aglomerações urbanas e outras obras civis. O esgotamento e malbarato dos recursos hídricos vêm estagnando a urbanização e industrialização, mesmo em regiões onde a água é tida como abundante.

No mundo todo, o uso inadequado de grandes áreas, seguido ou não de degradação, já afeta mortalmente populações inteiras. Para tais populações o uso predatório de recursos naturais como o solo arável e a água subterrânea, pode representar a sua condenação à morte. A maior parte destes países, além da população crescente, enfrenta graves desequilíbrios nas suas forças de produção. Automatiza-se a extração mineral, mecaniza-se e se sofisticava a lavoura e se latifundiária a propriedade rural. Novas atividades agrícolas tomam os campos de cultura. Tais fatos, tendo como consequência a extinção da propriedade familiar e do extrativismo primitivo, resultam num grande excedente de mão de obra. Paralelamente, ora como causa, ora como consequência, crescem a urbanização e a industrialização.

Desse modo, expõem-se hoje áreas cada dia maiores a intensa solicitação, proveniente tanto da exploração agrícola, quanto da implantação de obras civis; entretanto, o grau de conhecimento quase nunca acompanha a intensificação do uso do meio físico. Há ainda que se ressaltar o fato de que normalmente não há, por parte das forças produtoras, maior interesse em se aprofundar o conhecimento, além do necessário para garantir o retorno, a curto prazo, do investimento e proventos almejados.

A maior parte dos países onde este quadro se mostra com poucas variações, são países situados na faixa tropical ou intertropical; tais regiões são hoje tomadas de assalto pelo desenvolvimento; tecnologia moderna e exótica largamente aplicada para acelerar e otimizar a curto prazo, a produção. A maior parte das respostas a estas solicitações são desconhecidas. Algumas reações altamente desfavoráveis do meio físico encontram convenientes explicações nos fenômenos climáticos ou geológicos de larga escala. A parcela de culpa que

cabe à forma de uso territorial, quando suscitada, reduzida quase sempre a dimensões inexpressivas.

Em nosso país já se fazem sentir os efeitos de intensa degradação, envolvendo grandes porções de território, paralelamente a uma somatória respeitável de acidentes e problemas localizados. Dois fatores principais se integram para a ocorrência deste paradoxo aparente, que é a degradação ambiental de um país em processo de ocupação: de um lado o próprio histórico da ocupação, e de outro as reações desconhecidas de certos ambientes tropicais. Mesmo quando não guiada pelo espírito predatório, a ocupação utilizou e ainda utiliza métodos muitas vezes incomparáveis com as terras tropicais.

A conservação dos conceitos introduzidos pelo colonizador, reforçada pela influência constante de civilizações de regiões frias ou temperadas, resultou numa atuação mecânica, onde as pesquisas e recomendações inovadoras não encontram apoio nem eco. Colaborando com a manutenção de tais preceitos tradicionais, a nossa grande extensão territorial tem permitido a translação de atividades rurais ou extrativistas para "terras virgens", mascarando os fracassos, mantendo, quando muito, empreendimentos extensivos, que seriam considerados inviáveis frente a outras realidades econômicas.

Inúmeros casos nacionais podem ser citados, exemplificando a falta de critério no aproveitamento dos recursos naturais. Um dos casos mais próximos no espaço e no tempo o que ocorreu nas últimas décadas em grandes áreas do Noroeste do Estado do Paraná, onde não se fez distinção entre a "terra roxa", proveniente de rochas basálticas, e os solos arenosos que cobrem o arenito Caiuá, de cor semelhante. Este último solo, de grande fertilidade inicial, teve um rápido exaurimento e, posteriormente, dadas suas características, manifestou fenômenos de erosão e assoreamento, de tal forma crescentes, que hoje são considerados como problemática de difícil solução e localmente como verdadeiras tragédias. A região mais afetada perfaz uma área de aproximadamente 30.000 km², somente no Estado do Paraná. Nesta mesma região e em vastas áreas do Sul e Sudeste brasileiro, a erosão urbana afeta o crescimento de centenas de municípios.

A locação tradicional de cidades em altos topográficos faz com que as águas pluviais e servidas sejam lançadas em drenagens temporárias ou permanentes, cujos leitos se constituem em material inconsolidado. O incremento de vazão inicia um processo erosivo, em geral remontante, que se desenvolve rumo ao núcleo urbano, colocando em risco ou destruindo toda sua infraestrutura.

A ocupação indiscriminada de encostas, alagadiços e outros terrenos problemáticos é outra fonte de acidentes e problemas “insolúveis” de urbanização. As causas que levam a população a ocupar tais áreas são de ordem econômica e fora do campo tecnológico; porém a geotecnia tem elementos que permitem a previsão e prevenção de acidentes e problemas futuros. A partir da incorporação destas áreas à administração pública, esta assume a problemática de crescimento e manutenção dos novos bairros. Podem ser lembrados casos como Montserrat em Santos (1956), Caraguatatuba (1967), Vila Albertina em Campos de Jordão (1972), acidentes que se repetem nos morros do Rio de Janeiro, assim como inúmeras áreas urbanizadas com problemas permanentes de implantação e manutenção de melhoramentos urbanos (saneamento, arruamento e as próprias habitações). Enfrentando problemas permanentes, temos junto a núcleos urbanos, novos conjuntos residenciais e até mesmo bairros inteiros recém-construídos que apresentam graves problemas de implantação e manutenção da infraestrutura urbana.

Nosso território extenso e variado impõe à urbanização, problemas que se caracterizam infelizmente como tristes novidades. Tais fenômenos vão desde os comuníssimos processos erosivos que afetam as cidades do sudeste brasileiro (estereotipadas naquelas do Noroeste do Paraná), passando por não menos comuns movimentos de encostas que afetam núcleos habitacionais “de morro”, até problemas “especiais”, como por exemplo: a corrida de terra que destruiu sessenta casas em Vila Albertina em 1972; a corrida de areia que provocou o afundamento de treze edifícios em Guaratuba- PR., em 1968; o decantado caso do Valo Grande, cujo alargamento por erosão vem desde o século passado vencendo a cidade de Iguape, terminando por sufocá-la pelo assoreamento de seu porto; o soterramento progressivo

do núcleo habitacional de Laguna – SC, que até 1975 já tinha 7 de suas residências totalmente cobertas pelas dunas.

As disponibilidades de água, tanto para uso urbano como industrial, são via de regra consideradas do ponto de vista de uso imediato, sem uma previsão realista de uma maior demanda futura, nem tampouco da manutenção dos recursos existentes. Exemplo claro e atual de tal situação é encontrado na região do ABC-SP, (municípios industriais da Grande São Paulo), onde a carência de recursos hídricos representa uma invencível barreira para a continuidade do crescimento industrial; sendo um dos fatores principais para a mudança de indústrias para outras áreas. O mais grave é que a transferência dos polos industriais também se efetua sem estudos prévios adequados, o que faz antever, dentro em breve, o surgimento dos mesmos problemas, tanto de poluição como de carência de recursos, nas novas áreas assim eleitas.

No Brasil, torna-se imperioso, como embaçamento do esforço desenvolvimentista, o conhecimento do meio físico de superfície e subsuperfície, cujas potencialidades e limitações deverão direcionar os empreendimentos de uso do território, rumo a um sucesso sólido e duradouro.

2 O MEIO FÍSICO E O PLANEJAMENTO

A necessidade de planejar o uso humano do território é uma imposição administrativa do desenvolvimento. Porém, fato inegável que o meio físico não tem sido considerado dentro da importância que representa. O crescimento desordenado que afeta nossas metrópoles é fruto basicamente de ausência de planejamento, ou, mais lamentavelmente, resulta de planejamentos muito discutíveis. Neste último caso o saldo negativo sob três aspectos principais. Em primeiro plano, destaca-se o caráter parcial de tais planejamentos, o que os torna dificilmente exequíveis e assim, plenamente cumpridos ou não, redundam em fracasso. Em segundo plano, o próprio ônus com tais serviços resulta num reprovável desperdício do erário público. Em terceiro plano, como consequência dos dois primeiros, resulta o descrédito crescente no termo “planejamento”.



Foto 1. Vista aérea parcial dos escorregamentos regionais na Serra de Caraguatatuba, SP - Março de 1967.



Foto 2. Vista aérea parcial do escorregamento de Vila Albertina - Campos do Jordão, SP - Agosto de 1977 (Foto "Agência Estado")

Mesmo em cidades menores e menos complexas, diagnósticos, planos diretores têm sido elaborados expeditamente, encarados como burocracia "pro-forma", já que exigida por lei, para desejadas dotações orçamentárias municipais.

Os poucos trabalhos encontrados dentro de planejamentos regionais ou urbanos que encaram o meio físico com seriedade, resumem-se a considerações parciais no sentido do aproveitamento de disponibilidades locais. De modo geral, os elementos considerados prendem-se a aspectos topográficos, ocorrência de materiais de construção e facilidades de uso de água". Entretanto, o meio físico fornece, a vários níveis de investigação, um aspecto mais amplo das suas potencialidades e limitações de uso: bem conhecer aço dos terrenos

premissa básica para um planejamento bem sucedido.

3 O CONHECIMENTO DO MEIO, A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO

Cabe à Geologia o conhecimento de grande parte dos fatores condicionantes de uso. Assim, suscetibilidades à erosão e a movimentos, disponibilidade de águas subterrâneas, atitudes e características de maciços terrosos e rochosos, dinâmica da crosta e um grande número de características do ambiente e dos materiais, relacionam-se aos estudos geológicos.

Informações isoladas podem ter um significado restrito, porém um conjunto de informações, relativas a uma área ou várias áreas, analisadas sob o prisma de seu interrelacionamento, pode determinar inúmeras limitações e potencialidades do meio ambiente, frente aos possíveis usos humanos.

A Geologia Ambiental, termo há pouco introduzido no Brasil, pode ser conceituada como a parte da Geologia que congrega os elementos básicos para o bom uso da terra. Parece-nos, entretanto, que tal termo não define claramente a participação da geologia em anteprojetos, ou planos de uso territorial. O termo Geologia de Planejamento parece estar mais intimamente ligado ao aproveitamento racional da superfície terrestre. A atuação do geólogo no Planejamento deveria ser entendida como um trabalho de equipe, em que constassem especialistas em todas as áreas de conhecimento exigidas pelo trabalho. A filiação da Geologia de Planejamento a Geologia de Engenharia se deve à tecnologia já implantada e desenvolvida por este ramo da Geologia, tecnologia essa que vai de encontro às necessidades iniciais da Geologia de Planejamento. Além de subsidiar o planejamento do uso territorial e urbano, este ramo da Geologia pode participar de programas de recuperação e controle de degradação ambiental. Para tal, dispõem-se dos recursos da geotecnia para a escolha dos meios às áreas propícias.

Para a implantação da Geologia de Planejamento duas premissas nos parecem indispensáveis: o desenvolvimento de "know-how" nacional, obtido através de estudos globais com experimentos de campo, e paralelamente, o abandono

da mentalidade imediatista na administração dos bens naturais. As duas premissas acham-se interrelacionadas em muitos pontos, num círculo vicioso de interdependência. De um lado, o insucesso de planejamentos e medidas parciais de correção, e ainda os altos custos de conservação de certas obras, desencorajam as ações da administração pública. De outro lado, a intermitência das dotações de verba, aliada a fatores de ordem profissional, impedem a eficiência dos estudos. Como todo desenvolvimento de "know-how", tais trabalhos só se revelam produtivos quando contínuos e profundos.

Alguns fatores externos ao citado ciclo vicioso vêm concorrendo para a solução do impasse. Os resultados de muitas obras civis de grande porte, o interesse de órgãos governamentais e internacionais, os efeitos da campanha conservacionista amparada pela imprensa, entre outros fatores, podem tornar viável a implantação de uma mentalidade de planejamento.

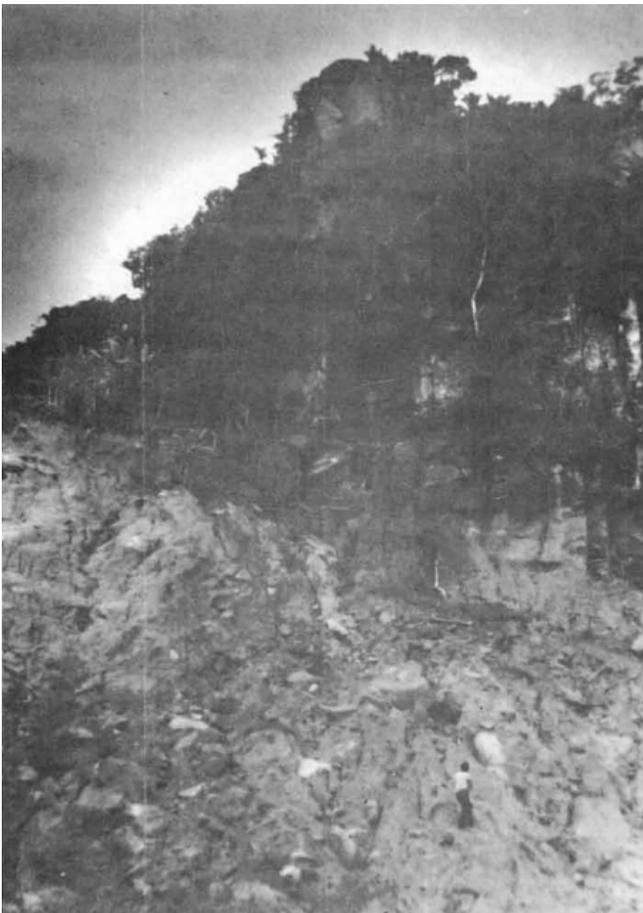


Foto 3. Vista parcial de um dos escorregamentos que afetaram em março/maio de 1974 a Serra de Maranguape, Ceará - Março de 1975.

O planejamento desejado permitiria à administração pública satisfazer o interesse da livre empresa, apresentando opções e orientando os empreendimentos no sentido de bem comum, a curto, médio e longo prazo.

Integradas às outras áreas do conhecimento, as condicionantes geológicas e geotécnicas se mostram indispensáveis tanto na previsão da suscetibilidade à degradação dos meios físicos, quanto na concepção dos modos de prevenção e correção das degradações ambientais.

4 A GEOLOGIA E O BOM USO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

No Brasil, os problemas mais conhecidos que mostram a ligação entre os sucessos dos usos territoriais e a natureza geológica, agrupam-se em três categorias principais: problemas ligados à erodibilidade, problemas ligados a movimentos de massas e problemas ligados ao abastecimento d'água. A disponibilidade de materiais naturais de construção perfaz um tópico particular de condicionantes do sucesso da implantação de obras civis, como barragens, vias de transporte e urbanização. A interinfluência entre os materiais utilizados nas obras e entre estas e o meio físico, é determinante na apreciação da viabilidade de uso de determinada porção do território,

4.1 Problemas Ligados à Erodibilidade

As características de erodibilidade, estando ligadas aos aspectos topográficos e granulométricos da distribuição dos solos superficiais, entre outros aspectos, determinam as conhecidas formas de erosão laminar e de ravinamento. Porém em nosso meio ambiente, outra forma de erosão, localmente mais danosa, pode coexistir com as formas citadas. Tal forma de erosão recebe entre nós o nome de boçoroca, a qual, mais que grande ravina, revela-se especialmente perigosa quando se desenvolve junto a cidades, obras viárias ou outras obras civis. A grande velocidade de desenvolvimento, as dimensões atingidas e as dificuldades de contenção são suas características mais conhecidas. Entretanto são raros os estudos a respeito de seus mecanismos de progresso, e conseqüentemente, dos meios de contenção.

Aparentemente dissociada das características litológicas indicadas nos mapas geológicos brasileiros, a boçoroca afeta indistintamente tanto solos que capeiam rochas cristalinas, quanto aqueles que capeiam as sedimentares. Atacando preferencialmente áreas deflorestadas, sua ocorrência parece estar ligada a uma associação favorável de fatores imperantes em extensas áreas no Brasil. Entre tais fatores, merecem destaque determinados perfis pedológicos, comuns aos solos tropicais, de condições topográficas e geomorfológicas de regiões onduladas, onde predominam as formas côncavas e suaves. Comportamentos particulares da água no subsolo, bem como variáveis de ordem climática, parecem ser também determinantes no surgimento de boçorocas. Dos casos que se tem notícia pode-se depreender que as regiões sul e sudeste apresentam extensas áreas profundamente afetadas pela erosão e, conseqüentemente, pelos problemas de assoreamento de rios e reservatórios. Nota-se ainda, que as formas de erosão tropical estão associadas inequivocamente aos extensos depósitos cenozóicos que constituem os solos superficiais de grandes áreas do sudeste brasileiro.

Notícias de ocorrências de boçorocas ou de grandes ravinas, em outros pontos do território nacional, relatados por técnicos que operam nessa área, podem entretanto, indicar que as boçorocas se desenvolvem com maior frequência no sul e sudeste, também por serem estas regiões brasileiras as que apresentam uso mais intensivo e generalizado.

A erosão fluvial se reveste de maior importância nas porções de território onde os cursos d'água atravessam formações sedimentares inconsolidadas. Principalmente quando o regime hídrico tenha sofrido interferências, alterando o seu equilíbrio erosão/sedimentação. Formações arenosas incoerentes são comuns em extensas porções da faixa litorânea, assim como nas bacias dos grandes rios de planície, como os da bacia amazônica.



Foto 4. Boçoroca se desenvolvendo na zona rural de Jaborandi, Bahia, sobre colúvio do arenito Urucuia.



Foto 5. Vista aérea parcial de uma das boçorocas que afetaram a cidade de Cianorte, PR, sobre solos que capeiam o arenito Caiuá.



Foto 6. Detalhe da foto anterior.

4.2 Problemas Ligados a Movimentos de Massas

Quanto aos movimentos de massas, podem ser assim considerados: diversos tipos de escorregamento e fenômenos de adensamento, ou de subsidência.

a) Os escorregamentos se acham intimamente ligados à configuração topográfica, à geologia (estruturas, espessuras de solo), à cobertura vegetal, à pluviosidade local. Desse modo, quase toda a extensão da Serra do Mar e outros padrões geográficos que marcam a ascensão para o Planalto Atlântico, apresentam áreas propícias à ocorrência de escorregamentos. Os condicionamentos geológicos e climáticos, aliados às atividades antrópicas, como sua travessia por vias de transporte, desmatamento e outras formas de ocupação desordenada, fazem destas unidades geográficas o palco de deploráveis acidentes. Os escorregamentos, tidos como mecanismo normal da evolução das encostas têm na ocupação indiscriminada destas, um fator de catalização e aceleração.

Assim como as serras, de um modo genérico, são condicionantes regionais de áreas sujeitas a escorregamentos, mais localmente, vertentes de colinas e morros isolados, quando sujeitas à ocupação desordenada, podem gerar escorregamentos não menos catastróficos.

As características dos maciços terrosos tropicais com suas grandes espessuras e, naqueles de origem residual, a manutenção das feições estruturais da rocha matriz, fazem destes maciços um caso particular nos estudos tradicionais de estabilidade. Deste modo, cabe aos técnicos brasileiros formular soluções próprias, a partir das observações de campo e estudos laboratoriais, que permitam uma melhor previsão de estabilidade de taludes naturais e de corte.

b) Outras categorias de fenômenos relacionados aos problemas de movimentos são os fenômenos de solos suscetíveis a adensamento ou mobilização vertical de outras naturezas. Nesta categoria, o território brasileiro apresenta, além de várzeas com depósitos argilosos, extensas formações costeiras, nas quais a deposição de sedimentos marinho-continentais resulta em terrenos de baixa capacidade de suporte, com espessas

camadas argilosas orgânicas de elevado Índice de vazios. A ocupação urbana, industrial ou a transposição de tais áreas por vias de transporte se apresentam como problemas constantes. Neste quadro, a Baixada Santista já tem recebido por parte dos técnicos brasileiros uma atenção merecida, já tendo se desenvolvido muitas técnicas construtivas para sua utilização como terreno de fundação. Também em outros pontos do litoral brasileiro, a faixa costeira apresenta diversas áreas de interesse imediato, do ponto de vista de ocupação, sem, contudo, ter-se um conhecimento global da constituição de seus subsolos.

4.3 Os Problemas Ligados ao Abastecimento D'água

O abastecimento d'água, tanto para uso em núcleos urbano/industriais, como para uso agrícola, tem se revelado como um problema crônico, sendo a imprevidência e o malbarato, a tônica imperante, tanto nas regiões do Nordeste, onde o clima torna a água escassa, como no Sul e Sudeste, onde os recursos hídricos são tidos enganosamente como inesgotáveis.

No polígono das secas, a grande quantidade de açudes, frutos da ação tradicional das "frentes de trabalho", que se desenvolvem a um século, salvo honrosas exceções, apresentam, infelizmente, como saldo imediato, a ocupação das raras terras agricultáveis por lagos de discutível utilidade. Tais lagos, sem obras subsequentes para distribuição e irrigação, e, na maior parte, sem vertedores de fundo ou outros mecanismos reguladores de vazão, podem assumir três aspectos negativos, manifestados isolada ou conjuntamente. O primeiro destes aspectos se relaciona com a salinização das águas, sendo inúmeros os açudes que acumulam água imprópria para os usos de abastecimento. O segundo aspecto resulta do impedimento da circulação das águas para as terras aráveis a jusante, retendo a contribuição das primeiras chuvas, para enchimento do lago cujo volume se encontre reduzido pela estação seca. O terceiro aspecto se prende ainda ao próprio regime hídrico, sendo muitos açudes verdadeiras "espadas de Damocles" pairando a montante de vilas e povoados, durante o período de chuvas. Desde que ausentes outros mecanismos reguladores,

resta às frentes de cheia, após cheio o lago, verter por sobre as barragens.

Mesmo nas regiões chuvosas do Sul e Sudeste ocupadas pela agricultura, muitos núcleos urbanos apresentam graves problemas de abastecimento de água potável. A maior parte dos problemas se acham ligados aos sistemas de obtenção de água, que o de captação superficial, e se substanciam em dois aspectos mais importantes. O primeiro o rápido assoreamento dos reservatórios, graças a acelerada erosão a que estão sujeitas extensas áreas sob exploração agrícola. O segundo aspecto, muitas vezes associado ao primeiro, é a poluição dos mananciais por defensivos agrícolas, de uso crescente e irrestrito durante a última década.

Nas regiões industrializadas, o grande crescimento urbano-industrial tem gerado problemas desmedidos para o abastecimento de água. Soma-se ao esgotamento dos recursos disponíveis, a poluição dos mananciais restantes. Tal poluição se efetua tanto pelo lançamento de detritos sem tratamento prévio em pontos inadequados dos rios ou lagoas, como pela infiltração, quando o terreno apresenta características favoráveis. Em muitos casos a captação de águas subterrâneas, por meio de poços profundos, resolve parcialmente os problemas de abastecimento. Entretanto, a superexploração dos aquíferos, aliando-se à pavimentação, e às áreas construídas que acabam por reduzir as zonas de infiltração, acarretam rebaixamento permanente dos níveis freáticos. A carência de recursos hídricos já se apresenta crônica em diversas regiões sujeitas à intensa industrialização e/ou urbanização. O esgotamento dos recursos superficiais e subsuperficiais, seguido da solicitação de áreas cada vez mais distantes, bem como a destruição e mau uso de mananciais e reservas, se apresenta como uma característica marcante da exploração urbano-industrial das três últimas décadas.

4.4 Os problemas do Desconhecimento

Reações desfavoráveis do meio, aliadas ao conhecimento relativamente mais detalhado de algumas regiões brasileiras, permitem observar inúmeros casos de uso inadequado do território. Deve-se ter em mente, por outro lado, que mais

de 60% do território nacional é constituído por terrenos praticamente desconhecidos, representados em boa parte pela Amazônia Legal. Nessa considerável porção do território ocorrem extensas formações sedimentares de idades terciária e quaternária; seu relevo, de modo geral, suave, mesmo em regiões tidas como de embasamento cristalino a cobertura florestal e a localização geográfica impõem um clima de umidade e temperatura elevadas. A ocupação incipiente de algumas destas áreas, tem se revelado problemática, sendo comuns os casos de esgotamento prematuro da fertilidade, assim como fenômenos erosivos profundos muitos similares às boçorocas descritas no sul do país. As evidências indicam, serem muito vastas as ocorrências de solos arenosos e incoerentes, assim como a lixiviação e laterização profundas e generalizadas. Tais perspectivas, aliadas à escassez de dados cientificamente obtidos, pedem um detalhamento de estudos, a fim de que não se imponham solicitações contrárias às aptidões do meio físico, do qual o solo, "lato sensu", é parte vital.

4.5 Os Problemas da Utilização do Conhecimento

Em nosso país, a participação da geologia em projetos de utilização de territórios se acha ainda restrita a estudos locais de Geologia de Engenharia, normalmente para o caso de barragens, estradas e fundações de grandes estruturas. Entretanto, há alguns anos vêm se desenvolvendo trabalhos efetivos no sentido de introduzir a geologia no campo do planejamento. São poucos os trabalhos que representam um enorme esforço de profissionais isolados, engajados na divulgação constante deste novo ramo da Geologia de Engenharia.

Similarmente aos outros países, as falhas de comunicação entre Geologia e Engenharia se fazem sentir, com as dificuldades de se obter informações objetivas de cartas geológicas tradicionais. Se as dificuldades de comunicação entre áreas próximas como Engenharia Civil e Geologia de Engenharia são grandes, as dificuldades serão tanto maiores entre a Geologia e os outros setores ligados ao planejamento. Assim, a Cartografia Geotécnica, instrumento já consagrado em diversos países desenvolvidos, se substancia como

notável forma de comunicação entre meio físico e o planejador ou projetista.

Grande parte da bibliografia estrangeira a respeito, deixa no interessado uma forte imagem de tecnologia avançada. Assim, muitos autores veiculam a ideia de cartografia geotécnica (como da própria Geologia de Planejamento) associando-a com “geomatemática”, “supermapping”, “cartografia automática”, obtenção de imagens por superposição de transparências, e outras técnicas sofisticadas. Entretanto, alguns autores estrangeiros já levantam, por um lado, a discutível utilidade de tais elaborações, e por outro, sua inxequibilidade econômica, quando em caráter extensivo. As críticas levantadas se prendem ao rumo imprimido a esse novo ramo da geologia, por muitos institutos e organismos oficiais (normalmente os ligados ao ensino), sob a denominação de geologia ambiental. Entre estes organismos se encontram aqueles que são os responsáveis pela sofisticação da cartografia geotécnica. Tais entidades se permitem atingir tal grau de refinamento, graças às características que lhe são próprias, como por exemplo: dotação orçamentária governamental, abundância de mão de obra de nível universitário a baixo custo (estagiários), e entre outros privilégios, facilidade de uso de computadores.

Em entidades que possuem orientação marcadamente acadêmica, soma-se à sofisticação citada, uma abordagem tal, que torna a Cartografia Geotécnica de difícil utilização pelos interessados (engenheiros civis, economistas, arquitetos, administradores, construtores, planejadores e o público em geral). A abordagem acima referida, manifesta seu erro através de dois fatores principais, que atuam isolada ou conjuntamente. O primeiro destes fatores, se prende ao uso de linguagem restrita aos meios profissionais em Geologia. O outro fator se atém ao enfoque dos problemas impostos e gerados pela ocupação humana, revelando falta de vivência e conhecimento geotécnico por parte destes profissionais.

Em contraposição às considerações acima alinhadas, os mesmos autores apontam como exemplo de uma cartografia realmente útil e exequível trabalhos que primam pela simplicidade tanto gráfica como de linguagem, conseguindo assim, um enfoque objetivo do meio físico. Nesta linha, um trabalho “Engineering characteristics of the rock

of Pensilvania” MacClade e outros, (1972) é apontado como exemplo de uma cartografia geotécnica de execução garantida e uso pleno. Tal trabalho se consubstancia em um mapa geológico com suas unidades rochosas convenientemente destacadas, acompanhado de uma tabulação que contém suas principais características, tanto as puramente geológicas (acamamento, fraturamento, grau de intemperismo, topografia), quanto as geotécnicas (porosidade, água subterrânea, estabilidade de taludes em corte, estabilidade de fundação, materiais de construção). Estas e outras características e propriedades importantes são apresentadas em termos acessíveis ao público interessado.

Com as considerações expostas nos parágrafos anteriores, pretende-se aqui, chamar a atenção para dois aspectos importantes à implantação da Geologia de Planejamento no Brasil. O primeiro aspecto é ligado à sofisticação de tratamento e representação, tendência esta, que segundo os críticos, não encontram condições para sua vulgarização, nem em países desenvolvidos e economicamente poderosos. O outro aspecto, de caráter aparentemente universal, é a utilização indevida de uma linguagem incompatível como os fins a que se propõe a Cartografia Geotécnica. Intimamente ligado a este aspecto, apresenta-se pouca objetividade com que são encetados os trabalhos executados por pessoal não suficientemente ligado aos problemas e solicitações impostos por obras civis e outras formas de uso territorial.

Como toda tecnologia, a Cartografia Geotécnica depende de metodologia produzida de acordo com a realidade de cada país. Assim, as necessidades geradas pelo desenvolvimento brasileiro podem ser supridas com a criação de métodos nacionais conjugados com “know-how” absorvido seletivamente de outros países, adaptados às nossas condições.

Não será demais lembrar que a tecnologia elaborada em países desenvolvidos constitui importante tópico em suas pautas de exportação. Por outro lado, os países em desenvolvimento, e entre eles o Brasil, se constituem em um mercado promissor para tal produção tecnológica.

No momento em que o governo de nosso país volta seus esforços para a consubstanciação de uma ocupação territorial efetiva, ele chama a si mesmo a responsabilidade pelo sucesso de

suas determinações. Tal diretriz faz do governo, o principal interessado no emprego de técnicas adequadas para o conhecimento de uma de suas principais matérias primas, que é o meio físico, para a utilização racional e responsável de seus recursos.

BIBLIOGRAFIA

- BADRE, D. 1973. La carte de localisation probable des avalanches, Symposium National "Sol et Sous-Sols et Sécurité de Construtions". BRGM et all, Cannes, Tomo 1, pag. 27-36.
- BRANAGAN, D.F. 1972. Geological data for the city engineer: a comparison of five Australian Cities, Anais do 24º Congresso Internacional de Geologia, Montreal, Seção 13, pag. 3-12.
- CIVITA, M. e outros. 1974. Evaluation de la stabilité de versants de La Peninsule Sorrentine (Campanie - Italie), Anais do 2º Congresso Internacional da IAEG, São Paulo, Tema III-27, 8 pag.
- COULON, F.K. 1974. Mapa geotécnico das folhas de Morretes e Montenegro (RS), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, impresso pela Tecnosolo-Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S.A.
- CRATCHLEY, C.R. e DENNESS, V.K. 1972. Engineering geology in urban planning with an example from the New City of Milton Keynes, Anais do 24º Congresso Internacional de Geologia, Montreal, Seção 13, pag. 13-22.
- DEMATHIEU, P. Cartographie de risques et teledetection. Symposium National/Sol et Sous-Sol et Sécurité de Construtions. BRGM et all, Cannes, Tomo I, pag. 119-123.
- GRANT, K. 1970. Terrain evaluation. A logical extension of engineering geology, Anais do 1º Congresso Internacional da IAEG, Paris, pag.971-980.
- GREHS, S.A. 1970. O papel do geólogo no planejamento, Informação Básica, IV Simpósio sobre Pesquisas Rodoviárias, Instituto de Pesquisas Rodoviárias R.J., 1968. Publicação em Separata nº 446, 15 pag.
- GREHS, S.A., 1970. O uso de mapas geológicos, mapas de vegetação e mapas de drenagem de irrigação, Projeto Sudoeste I, RS, Sudesul, 2ª Semana Paulista de Geologia Aplicada, 6 pag.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. (Inédito) - Estabilidade de taludes naturais "in prelo".
- GUIDICINI, G. e PRANDINI, F.L. 1974 - O caso do escorregamento de Vila Albertina: seu significado em termos de planejamento urbano, V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, São Paulo.
- HUMBERT, M., 1970. Aptitude des terrains au developement urbain et industriel, Anais do 1º Congresso Internacional da IACG, Paris, pag. 950-959.
- LEGGET, R.F. 1973. Engineering - Geological maps for urban development, Engineering Geology Case Histories, nº 10, Geologic Mapping for environmental Purposes (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edição de 1973, pag. 23-28.
- LUTTIG, G. The Geologist's role in Planning for the future -Natural resources and development - Institute for Scientific Cooperation, Geological Survey of the Federal Republic of Germany, pag. 23-30.
- MATHEWSON, C.C. e FONT, R.G. 1973. Geologic environment: Forgotten aspect in the land use planning process - Engineering Geology Case Histories, nº 10, Geologic Mapping for Environmental Purposes - (Ferguson; H.F.) da Geological Society of America, Edição de 1973, pag. 23-28.
- MATULA; M. e outros, 1971. Report of the first meeting of the IAEG working group on engineering geological mapping, September 10 and 11,1970; Associação Internacional de Geologia de Engenharia, Bol. nº 3, pag. 3-6.
- MELTZ, S.J. 1973. Geonatural resources planning - Engineering Geology Case Histories, nº 10, Geologic Mapping for Environmental Purposes (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edição de 1973, pag.13-18.

- MEYERS JR., C.R. 1973. Regional land use analysis and simulation models: A step forward in the planning process. *Engineering Geology Case Histories*, n° 10, *Geologic Mapping for Environmental Purposes* (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edição de 1973, pag. 9-12.
- MONTGOMERY, H.B. 1973. Environmental analysis in local development planning. *Engineering Geology Case Histories*, n° 10 *Geologic Mapping for Environmental Purposes* (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edição de 1973, pag. 19-22.
- MONTGOMERY, H.B. 1973. What kinds of geologic maps for what purposes?, *Engineering Geology Case Histories*, n° 10, *Geologic Mapping for Environmental Purposes* (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edição de 1973, pag. 01-08.
- PRANDINI, F.L. (coordenador). 1974. Condicionantes geológicos e geotécnicos da degradação ambiental - Alguns casos brasileiros, *Boletim 01*, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 11 pag.
- PRANDINI, F.L. 1974. Occurrence of "boçorocas" in southern Brazil- Geological Conditioning of environmental degradation, *Anais do 2º Congresso Internacional da IAEG*, São Paulo, Tema III-35, 10 pag.
- PRANDINI, F.L., GUIDICINI, G. e GREHS, S.A. 1974. Geologia ambiental ou de planejamento, *Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia da SBG*, Porto Alegre - "in prelo".
- RAJU, K.C.C. e outros. 1974. Methodology and utility of geotechnical maps in the urban planning and development of the twin-city Capital of Hyderabad-Secunderabad, Andhra Pradesh, India, *Anais do 2º Congresso Internacional da IAEG*, São Paulo, Tema III-35, 10 pag.
- REBOUÇAS, A.C. 1973. Le problème de l'eau dans le Nord-Est semiaride du Bresil- Evaluation des reserves, orientation pour la mise en valeur - These doctorat d'Etat - Strasbourg, France.
- REMENYI, P. e VARGAS, M. 1970. The influence of geological potentialities in the development of the foundation expenses of residential buildings. *Anais do 1º Congresso Internacional da IAEG*, Paris, pag. 1037-1048.
- ROCKAMAY, J.D. 1972. Evaluation of geologic factors for urban planning. *Anais do 24º Congresso Internacional de Geologia*, Montreal, Seção 13, pag. 64-69.
- THOMAS, A. Determination et cartographie de zones de risque en mecanique des sols. *Symposium National "Sol et Sous-Sol et Sécurité de Construtions"* - BRGM et all, Cannes, Tomo I, pag. 202-211.
- VOGHT, J. La contribution possible d'un inventaire de temoignages du passe a l'appréciation de comportement des terrains et la prevision des risques geothecniques. *Symposium National "Sol et Sous-Sol et Sécurité de Construtions"*. BRGM et all, Cannes, Tomo I, pag. 212-217.
- WERNER, J. Environmental protection and problems of growth -Natural Resources and Development - Institute for Scientific Cooperation, Geological Survey of the Federal Republic of Germany, pag. 79-92.
- WOLOSHIN, A.J. 1970. Geoenvironmental information systems. Their use in urban planning, *Anais do 1º Congresso Internacional da IAEG*, Paris, pag. 871-880.

■ O BRASIL E A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO ■ TERRITORIAL E URBANO: DA PERSPECTIVA DE ■ FERNANDO LUIZ PRANDINI EM 1976 AO ANO 2020

BRAZIL AND GEOLOGY IN TERRITORIAL AND URBAN PLANNING: FROM THE PERSPECTIVE OF FERNANDO LUIZ PRANDINI IN 1976 TO 2020

KÁTIA CANIL

Universidade Federal do ABC; Santo André, São Paulo, Brasil. katia.canil@ufabc.edu.br

RESUMO

Apresenta-se o comentário ao texto “O BRASIL E A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO TERRITORIAL E URBANO” de Fernando Luiz Prandini, Geólogo da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A – IPT. O texto, publicado no 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, realizado no Rio de Janeiro

em 1976, trata de um resgate da visão do geólogo quanto a importância dos estudos do meio físico para o planejamento territorial. Seu pensamento ainda é muito pertinente e atual, onde apesar da evolução da contribuição dos estudos geológicos e da cartografia geotécnica, ainda há um longo caminho a trilhar.

1 INTRODUÇÃO

O olhar futurista de Prandini apontava em 1976, quando produziu a publicação “O Brasil e a Geologia no Planejamento Territorial e Urbano” que *“a repetição dos insucessos do passado no uso do território, seria atualmente, catastrófica”* (PRANDINI, 1976). Pois bem, passaram-se 46 anos e o que presenciamos, apesar de todo avanço tecnológico, foi um aumento severo e gradativo das perturbações ocasionadas pelas intervenções antropogênicas no meio ambiente, tais como: alterações climáticas evidenciadas pelos eventos extremos; surgimento de processos erosivos, comprometendo o desenvolvimento de atividades agrícolas e conseqüentemente o assoreamento dos cursos d’água; as ocorrências de deslizamentos atingindo áreas urbanas, sobretudo as áreas periféricas

de maior vulnerabilidade; a poluição dos aquíferos subterrâneos e *“o esgotamento e malbarato dos recursos hídricos”*, tendo como o ápice a crise hídrica de 2014, que até o momento seu enfrentamento ainda é um desafio para os gestores públicos. Esses são apenas alguns exemplos das questões também tratadas no âmbito da Geologia de Engenharia e Ambiental.

A década dos anos 1970 é marcada por um período de crise, um novo processo de reestruturação capitalista em suas diversas instâncias sociais, e maior exposição da luta de classes. Em paralelo, Prandini observava os desequilíbrios das forças de produção com a automatização da extração mineral, mecanização agrícola, ampliação e fortalecimento dos latifúndios, levando à extinção das propriedades familiares e do extrativismo primitivo e, portanto, a migração das populações

para viver nas áreas urbanas, inicialmente atraídas para o trabalho nas atividades industriais e na construção civil.

Prandini ainda considerava que as mudanças das formas de apropriação dos territórios, seja pelas atividades agrícolas, obras civis, infraestrutura urbana demandavam “intensa solicitação” do meio físico. No entanto, pouco se conhecia ou se utilizava do seu conhecimento para dar suporte e orientar como proceder para que todas as intervenções fossem realizadas de forma a garantir a segurança desses espaços frente à exposição dos processos do meio físico característicos da interrelação entre substrato, relevo e solo (movimentos gravitacionais de massa, erosão, colapsos, subsidências, inundações, etc.). Nesse sentido, pode-se afirmar que ao longo dos últimos 40 anos, apesar de todos os esforços, que levaram a uma vasta produção técnico-científica desenvolvida pelas instituições de ensino e pesquisa que investigam o comportamento do meio físico e dos processos atuantes, sua incorporação aos estudos de planejamento territorial ainda estão muito aquém do que poderiam ser utilizados.

A “*colonização inadequada* – como denominou Prandini – *também compreendida como colonização do território por meio da exploração dos recursos naturais*” resultava em problemas e acidentes localizados decorrentes do próprio processo de ocupação e da própria resposta do meio físico em um ambiente tropical, incompatível com determinados tipos de uso, podendo destacar atividades extrativistas, tais como a exploração dos recursos naturais sobretudo o desmatamento das áreas florestadas, que levam ao desequilíbrio de todo ecossistema (fauna, flora, ciclo da água); tudo para atender aos interesses econômicos e distante de uma perspectiva sustentável.

Prandini, a partir de sua experiência como geólogo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, cita vários exemplos que evidenciam esses problemas, destacando áreas degradadas por erosão nas regiões sul e sudeste brasileiro e a erosão urbana, que afetava o crescimento de centenas de municípios com suas áreas urbanas instaladas nos espigões ou linhas de interflúvios, colocando em risco moradias e infra-estrutura local; além da ocupação de encostas e planícies fluviais que são “fontes de problemas insolúveis da urbanização”

e após quatro décadas ainda continuam sendo um desafio para os gestores públicos. Cabe destacar aqui, para ser breve, apenas os dois últimos maiores episódios de inundação que ocorreram na Região Metropolitana de São Paulo: as chuvas de 10 e 11 de março de 2019 que castigaram a Região do ABC e zona sul do município de São Paulo e as chuvas do dia 10 de fevereiro de 2020 que atingiram a confluência dos rios Tietê e Pinheiros gerando graves prejuízos e transtornos para a cidade de São Paulo, com impactos na mobilidade e nos municípios vizinhos. Com relação aos registros de deslizamentos em áreas de encostas nas regiões periféricas, precárias de infraestrutura, segregadas socio-espacialmente e ocupadas por comunidades em condições de vulnerabilidade, estes tornam-se cada vez mais recorrentes, expondo as populações a situações de riscos alto e muito alto. Além de eventos ocasionados em maiores proporções como por exemplo no Monte Serrat (Santos, 1956), Caraguatatuba (1967) e Vila Albertina (Campos do Jordão, 1972), acrescentam-se aqui os acidentes ocorridos em Santa Catarina (2008), no Morro do Bumba em Niterói (2010), Angra dos Reis (Rio de Janeiro, 2010), Serra Fluminense (Rio de Janeiro, 2011), Guarujá (São Paulo, 2020) e novamente em Santa Catarina, no Vale do Itajaí (dezembro de 2020).

2 A CONTRIBUIÇÃO DA GEOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO TERRITORIAL

Para Prandini, “*a geotecnia tem elementos que permitem a previsão e prevenção de acidentes e problemas futuros*”, e acrescentava que o “*conhecimento do meio físico de superfície e subsuperfície permite avaliar as potencialidades e limitações dos terrenos para direcionar os empreendimentos de uso do território, rumo a um sucesso sólido e duradouro*”. Essa visão vem contribuir para a busca de inovações em projetos de saneamento, infraestrutura (barragens, rodovias, dutovias, linhas de transmissão, etc), habitação, dentre outros, e que podem ainda mais recentemente ser readequados levando em conta as Soluções Baseadas na Natureza, resgatando a possibilidade de recompor o ambiente para a melhoria da qualidade de vida nas cidades. Ainda nesse sentido, faz-se importante incluir as

comunidades que vivem em situações de precariedade, em processos participativos, decisórios e de governança junto aos gestores públicos para definir as soluções para áreas críticas.

Assim, estritamente com relação ao “Meio Físico e o Planejamento”, Prandini reforça que é **“fato inegável que o meio físico não tem sido considerado dentro da importância que representa. O crescimento desordenado que afeta nossas metrópoles é fruto basicamente de ausência de planejamento, ou mais lamentavelmente, resulta de planejamentos muito discutíveis.”** Destaca então três efeitos negativos: 1) **O caráter parcial de tais planejamentos, o que os torna dificilmente executáveis e assim, plenamente cumpridos ou não, redundam em fracasso;** 2) **O próprio ônus com tais serviços resulta num reprovável desperdício do erário público;** e 3) **Como consequência dos dois primeiros, resulta o descrédito crescente no termo “planejamento”.** E aqui nos cabe alguns questionamentos: Como planejar sem conhecer ou reconhecer os processos e fenômenos presentes nos territórios? Como planejar sem considerar as relações sociedade-natureza que envolvem o processo histórico socioeconômico, suas territorialidades e injustiças ambientais e a resposta do meio físico frente às ações antrópicas? Como enfrentar os atos perversos dos interesses econômicos e da especulação imobiliária que se sobrepõem à manutenção dos serviços ambientais? Prandini, assim, faz um apelo: **“conhecer a natureza dos terrenos é premissa básica para um planejamento bem sucedido”.** Inicialmente a contribuição da Geologia de Engenharia em estudos localizados, como por exemplo para a construção de barragens, estradas e fundações de grandes estruturas colocaram-na num patamar de crédito e respeitabilidade. Mas foi a partir dos anos 1990, que houve um avanço nos estudos e contribuições que visavam melhorar a qualidade da ocupação dos espaços urbanos, envolvendo a infraestrutura, a reurbanização de assentamentos precários por meio de soluções e inovações tecnológicas e até social, mesmo que de forma acanhada; nos estudos que consideravam ainda que parcialmente o meio físico na tomada de decisão para definição de projetos de uso e ocupação do solo; na elaboração de programas de recuperação e no controle de áreas degradadas; e na criação de leis mais protetivas e restritivas do ponto de vista am-

biental, com um papel extremamente relevante e atuante do Ministério Público nessas questões.

Mas voltando à percepção de Prandini, seu olhar coloca o conhecimento da Geologia a partir da análise do comportamento dos materiais do substrato rochoso, da investigação dos processos geológico-geomorfológico e geotécnicos, da dinâmica das águas subterrâneas, dentre outros como um conjunto de informações que de forma integrada podem **“determinar inúmeras limitações e potencialidades do meio ambiente”**, tornando-se um dos pilares fundamentais do Planejamento Territorial. Acrescenta-se que o Planejamento é um trabalho de equipe onde participam especialistas de diversas áreas do conhecimento. Em sua visão, para a **“implantação de uma Geologia de Planejamento”** duas premissas eram indispensáveis: a primeira é o desenvolvimento de um *know-how* nacional partir de estudos globais somado às experiências de campo e a segunda é a mudança de atitude com relação ao uso imediato dos recursos naturais. Há uma relação de interdependência entre essas premissas que envolvem recursos orçamentários, as linhas ideológicas da administração pública, os interesses econômicos do setor privado, a limitação dos recursos humanos, a descontinuidade das políticas públicas com as mudanças de governo e por fim a falta de governança. Mas uma questão que Prandini não colocou é que há uma responsabilidade do geólogo e dos profissionais da área de Geociências de forma geral de explicitar como essas informações do meio físico devem ser incorporadas ao planejamento (entenda-se na construção de Planos Diretores Municipais, e outros instrumentos das políticas urbana e ambiental).

Prandini ressaltava que no Brasil os principais problemas ou processos do meio físico relacionados entre o uso do solo e a natureza geológica dos terrenos estão agrupados em três categorias que chamou de: erodibilidade; movimentos de massa; e abastecimento de água (sistema hídrico).

A erodibilidade é um dos parâmetros de compreensão do desenvolvimento dos processos, sendo as boçorocas a expressão máxima do processo. Os agentes causadores das erosões podem ser de caráter natural (topografia, declividade, características do solo, mais comumente encontradas nas formações areníticas) ou antrópico (desmatamen-

to, e diversas formas de intervenções humanas), pois levam à degradação dos solos, impactos de grandes proporções em áreas urbanas, provocam assoreamento e exigem técnicas e recursos financeiros elevados para sua contenção (Figura 1).

Os movimentos de massa que são deflagrados pela ação da chuva (condições climáticas específicas) em ambientes de topografia acentuada, estruturas geológicas e tipos de solos com espessuras favoráveis, típicos do Província Geomorfológica do Planalto Atlântico, destacando toda extensão da Serra do Mar, são processos de



Figura 1. Erosão em área rural. Município de Bauru, SP. Arquivo IPT, 1995.

Quando ao abastecimento de água/sistema hídrico Prandini fez observações, considerando a escassez hídrica na região nordeste, e os impactos relacionados à construção dos açudes no nordeste que vão desde: salinização das águas; retenção de águas restringindo a circulação no subsolo; e o próprio regime hídrico, condicionado pela ação climática. Acrescenta-se que os *“recursos hídricos são tidos enganosamente como inesgotáveis”* nas regiões sul e sudeste, lembrando, fato esse evidenciado pela crise hídrica na RMSP em 2014. O ritmo de crescimento urbano também levou à poluição dos mananciais e assoreamento, exigindo medidas de tratamento. A própria urbanização e a impermeabilização impedem a infiltração da água no subsolo que teriam a função de alimentar o lençol freático. A carência de recursos hídricos é crônica, mas questiona-se se a crise atinge à toda população ou está restrita apenas às comunidades

evolução natural da vertentes ou encostas, mas a ocupação precária, inadequada e desordenada nesse ambiente torna-se um fator de catalização e aceleração da deflagração de deslizamentos e processos correlatos (Figura 2). Na área da planície costeira, Baixada Santista, por exemplo, verificam-se solos com baixa capacidade de suporte. A investigação, o conhecimento e compreensão dos mecanismos que regem esses processos por meio de observações de campo e estudos laboratoriais permitem avançar em medidas de prevenção e mitigação de impactos.



Figura 2. Deslizamento em Angra dos Reis, RJ (2010).

em condições críticas de vulnerabilidade e se há uma distribuição justa destes recursos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As dificuldades para se utilizar todo conhecimento produzido pela geologia que em grande parte é expresso pelas cartas geológicas, traduzem-se em dificuldades de compreensão pelas áreas de conhecimento transversais, tanto no âmbito da própria engenharia, quanto na área de planejamento, e por isso a proposta metodológica da cartografia geotécnica teria a função de desempenhar esse papel. Com os avanços e inovações na área dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por meio da automatização de informações e criação de bancos de dados geoespaciais, é possível estabelecer matrizes de cruzamento, considerando os parâmetros e respectivos pesos,

melhorando significativamente a qualidade dos resultados da análise dos terrenos. A literatura estrangeira, que em parte vem das pesquisas realizadas em universidades, pela oportunidade de recursos financeiros governamentais, emprego de estagiários-bolsistas e investimento em equipamentos (computadores), aborda essa temática no âmbito da Geologia Ambiental. Aos poucos esse termo foi sendo introduzido no Brasil e ganhou importância a partir de estudos aplicados. Não é a toa, que a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE, teve seu nome alterado para **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**.

Prandini faz a crítica com relação à complexidade da Cartografia Geotécnica, o que a torna de difícil leitura (linguagem restrita aos geólogos e profissionais de áreas afins) e compreensão por parte daqueles que lidam com as intervenções no território, e com o planejamento (engenheiros civis, economistas, arquitetos, administradores, construtores, planejadores e o público em geral), além do fato de que grande parte dos responsáveis pelos mapeamentos geotécnicos pouco compreendem os efeitos das intervenções humanas no território, pela falta de vivência e prática na solução de problemas. Por isso, a própria geologia tem que enfrentar esse desafio, apresentando os processos do meio físico de forma objetiva, acessível e sistematizado de forma simples, uma vez que há uma sofisticação de tratamento e representação das informações.

Há que se considerar que as metodologias devem ser desenvolvidas e adaptadas às condições da realidade de cada país e o Brasil possui especialistas para essa prática, levando em conta também as escalas possíveis de mapeamento e a disponibilidade de dados. Lembra-se que aqui, várias universidades brasileiras (Unesp, Rio Claro; USP, São Carlos, UFRJ; UFSC; UFPE; UFOP, dentre outras, e mais recentemente a UFABC), além das

instituições de pesquisa do Estado de São Paulo (Instituto de Pesquisas Tecnológicas e Instituto Geológico) com seus grupos de pesquisa vem ao longo dos anos trazendo inovações em propostas metodológicas, mas ainda distante de alcançar seu objetivo, que é de fato conseguir incorporar a cartografia geotécnica ao planejamento do território. O esforço para que essas ações se concretizem depende dos próprios executores da cartografia, da relação que estabelecem com os gestores públicos, por meio de realização de oficinas de capacitação dos usuários para aplicação dos resultados da carta e de demonstrar quais as potencialidades que esse instrumento possui e contribui com outros instrumentos das políticas públicas municipais, a exemplo dos planos diretores municipais, planos de gestão de riscos, questões relacionadas à regularização fundiária, pagamento por serviços ambientais; estudos de impactos de vizinhança, etc. Há também que se prever recursos financeiros para que a elaboração desses mapeamentos torne-se uma prática da gestão e com revisão periódica de acordo com as solicitações demandadas. Por fim, ressalta-se a formação de profissionais com habilidade e competências para a elaboração de cartas geotécnicas. Essa é uma responsabilidade dos cursos superiores de formação acadêmica que devem incluir em seus currículos por meio de disciplinas e cursos de extensão estudos aplicados tendo como base a cartografia geotécnica e geoambiental.

Depreendemos da visão de Prandini, que sua preocupação em demonstrar a contribuição da Geologia para o Planejamento, ainda é atual. Seu legado continua sendo referência no caminho para alcançar esse objetivo, porém cabe aos profissionais envolvidos nessa área serem mais questionadores, atuantes, persistentes e que exerçam diálogo constante com as diversas áreas do conhecimento, sobretudo aquelas que lideram as ações de planejamento no âmbito governamental.

CONTRIBUIÇÕES E REFLEXÕES

A RBGEA abre esse espaço para que os membros de nossa comunidade tenham divulgados suas ideias, pensamentos e opiniões sobre temas e assuntos relacionados à Geologia de Engenharia e Ambiental.

Esperamos com estes textos iniciar debates e discussões e por isso questionamentos, perguntas, opiniões serão muito bem vindas.

OS GEÓLOGOS E A DIMENSÃO CIVILIZATÓRIA DE SUAS ATIVIDADES PROFISSIONAIS

GEOLOGISTS AND THE CIVILIZING DIMENSION OF THEIR PROFESSIONAL ACTIVITIES

ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS
Geólogo, ARS Geologia Ltda., santosalvaro@uol.com.br

Em sua magnífica obra, *Novum Organum* (O Novo Método), Francis Bacon (1561 - 1626), notável e influente filósofo e cientista inglês, sentenciou: *"Nature to be commanded must be obeyed"*, "A Natureza para ser comandada precisa ser obedecida".

Detendo-nos na frase de Francis Bacon, expressão que revela a maravilhosa capacidade de percepção e síntese própria dos sábios, podemos entendê-la como a essência científica e metodológica do trabalho dos geólogos.

Para o atendimento de suas necessidades (energia, transporte, alimentação, moradia, segurança física, comunicação...) o Homem é inexoravelmente levado a utilizar-se de uma série de recursos naturais (água, petróleo, minérios, energia hidráulica, solos...) e a ocupar e modificar espaços naturais das mais diversas formas (cidades, agricultura, indústria, minerações, usinas elétricas, vias de transportes, portos, canais, disposição de rejeitos ou resíduos...), o que implica necessariamente em interferir na natureza geológica e em seus processos dinâmicos, condição que já o transformou no mais poderoso agente geológico hoje atuante na superfície do Planeta. Para que esse "comando" da natureza seja coroado de êxito, suas intervenções devem incorporar (obedecer) as leis que regem as características geológicas

dos materiais e dos processos geológicos naturais afetados.

Para obedecê-las (as Leis da Natureza), deve entendê-las, ou seja, estudar e compreender o meio geológico que deverá sofrer determinada intervenção e como esse meio reagirá frente às novas solicitações que lhe serão impostas; de tal forma a traduzir esses conhecimentos nas atitudes comportamentais e nas soluções de engenharia a serem adotadas. Será assim o trabalho do geólogo a condição elementar para que as atividades humanas dessa ordem sejam inteligentes, exitosas e provedoras da qualidade de vida no planeta, para essa e para as futuras gerações.

Hans Closs-(1885- 1951), eminente geólogo alemão, em consonância com a postulação de Francis Bacon, elevou o trabalho dos geólogos ao patamar de uma responsabilidade civilizatória: *"Só uns poucos tomam, por todos os demais, o encargo nobre e pleno da responsabilidade de custodiar a escritura sagrada da Terra, de lê-la e interpretá-la, pois o enlace consciente do homem com sua estrela está confiado a uma ciência em especial, a GEOLOGIA"*.

Que todos os geólogos tenham a percepção da transcendência, da beleza e do alcance civilizatório de sua atividade profissional e das responsabilidades que, por decorrência de sua ciência mãe, a Geologia, lhes cabe abraçar e desempenhar.

SOMOS AQUILO QUE ESTUDAMOS

WE ARE WHAT WE STUDY

ERIK WUNDER

Geólogo, Estelar Engenheiros Associados Ltda.

Logo nos primeiros dias de aula, o mundo muda para o aluno ingressante no curso de Geologia, e nesse novo mundo, as coisas nunca mais voltam a ser como eram antes. O que até então era pedra agora é rocha, barrancos viram afloramentos. Aquela porção de pedrinhas guardadas em caixas de sapato vira uma coleção de amostras rochosas do acervo particular.

Ele começa também a falar uma língua diferente. As palavras são estranhas, com encontros consonantais mais estranhos ainda. Feldspato, Arfvedsonita, Granodecrescência Ascendente são apenas alguns exemplos desse excêntrico idioma. A ideia de que ele passa por um ritual de iniciação para integrar uma seita de apaixonados por um martelo não está muito longe da realidade.

Discute-se se a Geologia é uma ciência em si ou apenas a aplicação da Física no entendimento do planeta Terra. Mas sendo a Física a descrição matemática da Natureza, nenhuma linha de pensamento que tenha a Natureza como foco de estudo pode ter a presunçosa intenção de escapar das leis que a governam. Muito pelo contrário, a consideração destas leis é condicionante primordial para um avanço verdadeiro do conhecimento.

Mas independentemente de ser ciência, filosofia ou história natural, para merecermos a compreensão da Geologia, é preciso olhar para trás e buscar as suas raízes.

Nessa viagem ao passado, passamos pela consolidação da nossa teoria da Tectônica de Placas no período pós-Guerra e seguimos para o início do século XX com Wegener e suas ideias da Deriva Continental. Continuamos para os séculos

XIX e XVIII com a conceituação do uniformitarismo e do plutonismo de Lyell e Hutton, e século XVII e os fundamentos da estratigrafia de Steno. Retrocedendo ainda mais, chegamos à Grécia Antiga do século VI AC, época em que o homem – o primeiro filósofo – começou a desenvolver um raciocínio científico sobre a Natureza, buscando a explicação dos fenômenos naturais não mais nos mitos e deuses, mas na observação e interpretação daquilo que seus olhos enxergavam. Este momento da história é marcante, pois este é o momento embrionário das ciências naturais, e daquele homem os geólogos são descendentes diretos.

O que caracteriza uma ciência e a diferencia das outras é o seu objeto de interesse e o seu método de investigação. Dizer que a Geologia estuda a composição e a estrutura da Terra, sua formação e sua evolução ao longo do tempo, é simples, entretanto, não tão trivial assim é a forma pela qual esse nosso objeto de interesse se nos apresenta.

É necessário entender que existe uma interconectividade entre as relações de causa e efeito, conexões que criam um ambiente contextual integrado, de modo que o que se estuda é um sistema Terra. Os registros são falhos, os dados são deficientes, a sequência histórica de informações está sempre incompleta. Os processos geológicos são maiores que o homem, eles acontecem por si, alheios ao nosso controle. Os anos de nossas vidas são uma janela minúscula frente ao seu tempo de desenvolvimento. De hoje à formação do planeta, do tetraedro de quartzo ao geoide terrestre, os fenômenos acontecem numa enorme variabilidade de escalas temporal e espacial.

Essas características são tão especiais e tão contundentes que acabam por condicionar o modo pelo qual podemos reunir informações. Por isso, nosso método de investigação é essencialmente sensorial, necessariamente observacional, fundamentalmente interpretativo. Precisamos ver para conhecer, sabendo que, no processo de compreensão, o significado das partes é esclarecido a partir da relação com o todo enquanto que a concepção do todo é construída a partir do entendimento de suas partes.

A Geologia é então o processo filosófico-científico, sensorial, empírico e hermenêutico, que estuda a composição, a estrutura, a dinâmica e a evolução da Terra.

E sendo assim, geólogos são cientistas sensoriais e empíricos. Absorvem e criam conhecimento pela observação e interpretação da Natureza, como fez o primeiro filósofo, lembra? Elaboram teorias, utilizam princípios cognitivos e conceitos estruturantes para a interpretação e a compreensão da geosfera. Na vasta amplitude de seus interesses, pesquisam do micro ao planetário, de hoje ao início da Terra.

Mas é preciso ir adiante.

Para o geólogo que atua com a Geologia Aplicada, a ação profissional é ambivalente, pois através do olhar interpretativo ele precisa visualizar o passado e presumir o futuro. Na Geologia Aplicada, a compreensão da história ou do processo geológico não é um fim em si, mas pelo contrário, é o ponto de partida de sua responsabilidade profissional.

Sua tarefa é caminhar pela fronteira entre os conhecimentos científico e prático através dos quais o homem interage com a Natureza. Seu treinamento de graduação e sua história profissional devem lhe dar o sustento necessário para fazer previsões, antecipar, estabelecer possibilidades sobre o ambiente geológico natural que está sendo considerado para receber a intervenção humana.

No cerne de sua atuação, o geólogo de engenharia deve descrever o local pelo mapeamento

geológico e depois parametrizá-lo através da caracterização geotécnica, e, ao longo do processo, identificar as condicionantes geológicas que o meio natural poderá impor sobre o projeto e as solicitações que o projeto irá transmitir ao meio, oferecendo soluções e alternativas que promovam otimizações no triunvirato preço-qualidade-prazo do empreendimento.

Em sua rotina profissional, ele trabalha como parte de uma equipe com profissionais de outras áreas do conhecimento. Geologia de Engenharia, Mecânica de Rochas e Mecânica de Solos representam os pilares de sustentação do ambiente interdisciplinar da Engenharia Geotécnica, onde é o geólogo que possui a bagagem cognitiva indispensável para contextualizar o meio geológico natural.

Acreditarmos na Geologia de Engenharia é imprescindível, é fundamental, mas não é suficiente. Precisamos ter a ciência de que a confiança e o respeito profissional não são dados por solicitação, eles são recebidos por merecimento. Para recebermos o respeito e a confiança do mercado e da sociedade, cabe a nós, geólogos de engenharia, fazermos por merecer, correspondendo às necessidades da sociedade e às expectativas que o mercado deposita em nosso saber, em nossa capacidade de entender as influências das ações humanas sobre o meio geológico, e as condicionantes do ambiente geológico sobre o projeto, a construção e a vida operacional do empreendimento.

BIBLIOGRAFIA

WUNDER, E. (2018). Versando Geologia. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, nº 90, p. 38-39.

WUNDER, E. (2018). O Geólogo, a Geologia e a Geologia de Engenharia. 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, in CD (222), p. 1-7.