



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

RBGEA

REVISTA BRASILEIRA DE
GEOLOGIA DE ENGENHARIA
E AMBIENTAL

Volume 12 (02)

2022

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	João Francisco Alves Silveira – Consultor
Alberto Pio Fiori – UFPR	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	Leandro Eugênio da Silva Cerri – Consultor
Carlos Geraldo Luz de Freitas – IPT	Luis de Almeida Prado Bacellar – UFOP
Clovis Gonzatti – CIENTEC	Luiz Fernando D’Agostino – SENAI
Denise de la Corte Bacci – USP	Luiz Nishiyama – UFU
Diana Sarita Hamburger – UFABC	Malva Andrea Mancuso – UFSM
Dirceu Pagotto Stein – Geoexec	Marcelo Denser Monteiro – Metrô – SP / UAM
Edilson Pissato – USP	Marcilene Dantas Ferreira – UFSCar
Eduardo Brandau Quitete – IPT	Marcio A. Cunha – Consultor
Eduardo Goulart Collares – UEMG	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 – Walm Engenharia	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/SIMA
Helena Polivanov – UFRJ	Yociteru Hasui – Consultor
Jair Santoro – IG/SIMA	

APOIO EDITORIAL

Denise Amaral e Didiana Dórea

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Rita Motta – Editora Tribo da Ilha

Volume 12 (02)

2022

ISSN 2237-4590



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

DIRETORIA ABGE GESTÃO 2023/2024

PRESIDENTE: Fábio Soares Magalhães

VICE-PRESIDENTE: Erik Wunder

DIRETOR SECRETÁRIO: Sergio Sussumu Tokudo

DIRETOR FINANCEIRO: Adalberto Aurélio Azevedo

DIRETORA DE EVENTOS: Ana Elisa Silva de Abreu

DIRETORA DE COMUNICAÇÃO: Lilian Pimentel

Conselho Deliberativo: Fábio Soares Magalhães, Erik Wunder, Sergio Sussumu Tokudo, Adalberto Aurélio Azevedo, Ana Elisa Silva De Abreu, Lilian Pimentel, Luiz Antonio Pereira de Souza, Otávio Coaracy Brasil Gandolfo, Joao Luiz Armelin, João Antônio Curtis, Luiz Alberto Minicucci, Malena D' Elia Otero, Iramir Barba Pacheco, Sergio Augusto De Arruda Camargo, Mauro Gomes Dos Santos Filho, Romildo Dias Moreira.

Conselho Consultivo: Delfino Luiz Gouveia Gambetti (Presidente), Adalberto Aurélio Azevedo, Carlos Manoel Nieble, Fernando Facciola Kertzman, Fernão Paes de Barros (in memorian), Jayme de Oliveira Campos, Giacommo Ré, Guido Guidicini, Kenzo Hori, João Jerônimo Monticelli, Luiz Ferreira Vaz (in memorian), Luiz Francisco Saragiotto, Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá, Murillo Dondici Ruiz (in memorian), Nivaldo José Chiossi, Tarcísio Barreto Celestino e Wilson Shoji Yiomasa.

NÚCLEO RIO DE JANEIRO/ESPÍRITO SANTO

Conselho Deliberativo: Aline Pimentel da Silva, Ana Caroline Duarte Dutra, Giovanna Tristão R. da Cunha, Larissa Mozer, Raquel Batista M. da Fonseca e Rodrigo Ferreira Franca.

NÚCLEO MINAS GERAIS

Conselho Deliberativo: Alberto Ferreira do Amaral Junior, Angelo Almeida Zenobio, Bruno Felipe Roepke, Diego Moreira da Silva, Ellen Delgado Fernandes, Frederico Nascimento Mendes Bezerra, Maria Giovana Parizzi, Michele Aparecida Flores Costa, Reuber Ferreira Cota, Yan Lucas de O. P. Santos e Walter Dos Reis Junior.

NÚCLEO SUL

Conselho Deliberativo: Adelir José Strieder, Andréa Nummer, Cezar Augusto Burkert Bastos, Débora Lamberty, Karina R. Camargo, Malva Andrea Mancuso e Marcos A. Musso Laespiga.

NÚCLEO CENTRO OESTE

Conselho Deliberativo: Bruna M. Cruz Fernandes, Caiubi Emanuel Souza Kuhn, Ingrid Ferreira Lima, Patrícia de Araújo Romão e Rodrigo Luiz Gallo Fernandes.

NÚCLEO NORTE

Conselho Deliberativo: Claudio Fabian, Dianne D. F. Fonseca, Elton Rodrigo de Andretta, Iris Celeste N. Bandeira, José Sidney Barros e Sheila G. Teixeira.

SECRETARIA ABGE

Gerente Executiva: Luciana Marques

Assistente Editorial: Lucimara Gouvêa

Assistente Administrativo: Kauany Santos

Auxiliar Administrativo: Maria Esther Reis

Auxiliar Financeiro: Vanessa Oliveira

Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Prédio 59 | Cidade Universitária | São Paulo - SP

Fones: (11) 3767-4361 | (11) 98687-6560

E-mail: abge@abge.org.br | Site: abge.org.br

SUMÁRIO

5 APRESENTAÇÃO

ARTIGOS CIENTÍFICOS

7 MAPEAMENTOS DE RISCO PARA REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA

Alessandra Cristina Corsi
Eduardo Soares de Macedo

16 OS TIPOS DE SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NO DESEMPENHO DE ANCORAGENS REINJETÁVEIS

Lucas de Araujo Estanqueiro
Rubenei Novais Souza

21 DEFINIÇÃO DE COEFICIENTES DE PRECIPITAÇÃO CRÍTICA (CPC) PARA EMISSÃO DE ALERTAS DE ESCORREGAMENTO NAS RODOVIAS SP-055 E SP-098, LITORAL NORTE PAULISTA

Guilherme Nunes Fernandez
Pedro Machado Simões
Fernando Machado Alves
Tobias Rehder da Cunha Patuci
Claudio José Ferreira
Fernando Facciolla Kertzman

CONTRIBUIÇÕES E REFLEXÕES

34 GEOLOGIA DE ENGENHARIA: ESSÊNCIAS

Álvaro Rodrigues dos Santos

37 MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA NA BR-277, ESTADO DO PARANÁ

Isonel Sandino Meneguzzo
Henrique Simão Pontes

39 GROTAS, FEIÇÕES DE RELEVO VEDADAS À URBANIZAÇÃO

Álvaro Rodrigues dos Santos



APRESENTAÇÃO

Estamos apresentando a segunda edição de 2022 da RBGEA – Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, a revista da ABGE. Nesta edição reunimos três artigos técnico-científicos que foram considerados os melhores artigos nos seus temas no 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental que aconteceu em Belo Horizonte em setembro passado.

O primeiro desses artigos, de Corsi e Macedo, trata do mapeamento de áreas de risco com foco na regularização fundiária, que é um processo que visa legalizar a permanência de moradias que foram instaladas de forma irregular, clandestina ou quando não foi possível a titulação de seus ocupantes, mesmo que atendessem à legislação em vigor à época de sua implantação ou regularização. Como as situações de risco são um impeditivo para essa regularização, o mapeamento desses riscos torna-se essencial para o processo.

Já Guilherme Nunes Fernandez e outros tratam do tema da correlação chuva e escorregamentos a partir da ideia do Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC). Esses coeficientes são uma das bases dos Planos Preventivos de Defesa Civil (PPDC), instrumento essencial para a prevenção de desastres. Os eventos ocorridos entre 1993 e 2020 nas rodovias paulistas SP 055 (Rio-Santos) e SP 098 (Mogi-Bertioga) são o exemplo tratado no artigo. Foram estabelecidas faixas de CPC que apresentam maior ou menor probabilidade de ocorrência de escorregamentos, servindo como importante ferramenta para a gestão de risco das rodovias, evitando que futuros escorregamentos

acarretem perdas de vidas e maiores prejuízos econômicos e sociais.

O terceiro artigo premiado no 17º CBGEA, de autoria de Estanqueiro e Souza, trata dos solos e suas influências no desempenho de ancoragens reinjetáveis. A ancoragem é uma das soluções para a contenção de encostas, taludes e escavações. Embora de uso comum já há muito tempo, não houve grande desenvolvimento teórico sobre a influência do tipo de solo e da técnica construtiva sobre o seu desempenho. Uma melhor estimativa do comportamento do tirante pode possibilitar projetos mais econômicos e previsíveis.

Na seção Contribuições e Reflexões, publicamos importantes colaborações de profissionais e colegas. O geólogo Álvaro Rodrigues dos Santos escreve sobre o que considera as essências da Geologia de Engenharia a partir de sua própria produção bibliográfica. Já Isonel Sandino Meneguzzo e Henrique Simão Pontes contribuíram com a descrição de um movimento gravitacional de massa na BR-277, Estado do Paraná. Novamente, Álvaro Rodrigues dos Santos nos traz uma avaliação das grotas como feições de relevo vedadas à urbanização, mas que são continuamente utilizadas como local de moradias.

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.

ARTIGOS CIENTÍFICOS

MAPEAMENTOS DE RISCO PARA REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA

RISK MAPPING FOR LAND REGULARIZATION

ALESSANDRA CRISTINA CORSI

Geóloga, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, accorsi@ipt.br

EDUARDO SOARES DE MACEDO

Geólogo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, esmacedo@ipt.br

RESUMO ABSTRACT

A dificuldade do acesso à moradia digna é um problema que atinge todas as cidades brasileiras. Atualmente, o aumento do número de pessoas vivendo em áreas de risco de escorregamentos, enchentes e inundações tem sido uma das características negativas do processo de urbanização e crescimento das cidades brasileiras. A regularização fundiária é um processo que visa legalizar a permanência de moradias que foram instaladas de forma irregular, clandestina ou quando não foi possível a titulação de seus ocupantes, mesmo que atendessem à legislação em vigor à época de sua implantação ou regularização. No artigo 39 da Lei 13.465/2017, em núcleos urbanos informais, ou de parcelas deles, situados em áreas de risco geológico-geotécnicos, somente é admitida a regularização fundiária por meio de aprovação do projeto, contendo estudos técnicos que possibilitem a eliminação, correção ou administração de riscos. Dentro deste contexto é de suma importância a utilização do tipo de mapeamento correto no processo de regularização fundiária. O mapeamento deve ser realizado casa a casa e conter a indicação da intervenção estrutural e não estrutural necessária para a redução do grau de risco.

Palavras-Chave – Mapeamento de risco; Setorização de risco; Regularização fundiária; escorregamento.

The difficulty in accessing decent housing is a problem that affects all Brazilian cities. Currently, the increase in the number of people living in areas at risk of landslides, flash floods and floods has been one of the negative characteristics of the urbanization and growth process of Brazilian cities. installed irregularly, clandestinely or when it was not possible to obtain the title of their occupants, even if they complied with the legislation in force at the time of their implementation or regularization. In article 39 of Law 13.465/2017, in informal urban centers, or portions thereof, located in geological-geotechnical risk areas, land regularization is only allowed through project approval, containing technical studies that allow the elimination, correction or risk management. Within this context, it is extremely important to use the correct type of mapping in the land regularization process. The mapping must be carried out house by house and contain the indication of the structural and non-structural intervention necessary to reduce the degree of risk.

Keywords – Risk mapping; Risk sectorization; Land regularization; landslide.

1 INTRODUÇÃO

A dificuldade do acesso à moradia digna é um problema que atinge muitos brasileiros em todas as nossas cidades. De acordo, com o levantamento preliminar dos aglomerados subnormais realizados pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), foram identificados mais de 5 milhões de domicílios irregulares. O fenômeno da proliferação de precarização habitacional é identificado tanto nas grandes cidades, principalmente nas metrópoles, quanto naquelas de pequeno porte, especialmente no norte e nordeste do país.

Atualmente, o aumento do número de pessoas vivendo em áreas de risco de escorregamentos, enchentes e inundações tem sido uma das características negativas do processo de urbanização e crescimento das cidades brasileiras, o que se verifica, principalmente, nas regiões metropolitanas (Ministério das Cidades/IPT, 2007). Fatores econômicos, políticos, sociais e culturais contribuem para o avanço e a perpetuação desse quadro indesejável. Em linhas gerais o problema das áreas de risco nas cidades brasileiras pode ser sintetizado nos itens abaixo:

- Crise econômica e social com solução em longo prazo;
- Política habitacional para baixa renda historicamente ineficiente;
- Ineficácia dos sistemas de controle do uso e ocupação do solo;
- Inexistência de legislação adequada para as áreas suscetíveis aos riscos mencionados;
- Inexistência de apoio técnico para as populações;
- Cultura popular de “morar no plano”.

Adiciona-se aos itens mencionados o problema das mudanças climáticas que tem como resultado o aumento do número de eventos extremos de chuvas no Brasil, e conseqüentemente, um aumento dos eventos de movimentos de massa.

A solução desse grave problema demanda muito tempo e recursos, dadas a enorme quantidade de áreas de risco e famílias afetadas. Uma das linhas de trabalho que tem sido adotada por várias administrações municipais é a regularização fundiária de terrenos em loteamentos irregu-

lares ou de propriedade pública. É um processo que ao final provê um documento de posse do terreno à família que o habita, e a experiência tem demonstrado, que isso faz com que as condições da área melhorem substancialmente já que as famílias se sentem seguras para aplicar melhorias em suas moradias, diminuindo inclusive o risco (Ministério das Cidades/IPT, 2007).

A regularização fundiária é um processo que visa legalizar a permanência de moradias que foram instaladas de forma irregular, clandestina ou quando não foi possível a titulação de seus ocupantes.

Política pública essencial ao desenvolvimento socioeconômico e ambiental, ainda pouco reconhecida em sua função e em seu próprio conceito, a Regularização Fundiária Urbana é a urgência de um país que precisa planejar e mudar sua conotação “desordenada”, “invadida”, “degradada”, “insalubre” e insegura (MARTINS, 2021).

A irregularidade atinge, em regra, todos os municípios do Brasil. São cerca de 30 milhões de imóveis urbanos irregulares, situação que traz insegurança jurídica, precariedade na infraestrutura e danos urbanísticos, ambientais, jurídicos e sociais aos moradores (MARTINS, 2021). A ausência da regularização fundiária impacta diretamente no desenvolvimento socioeconômico e impede o desenvolvimento sustentável do município. O chamado “custo da não regularização” ao ente público e à população local ultrapassa questões fiscais, de sonegação e de renúncia de receitas pela não inserção dessas unidades imobiliárias na vida da cidade. Um núcleo irregular causa insegurança jurídica nas relações entre particulares, aumenta os gastos com a saúde pública em razão da ausência ou da precariedade de saneamento básico no interior da gleba, o que gera a contaminação de mananciais e impede, muitas vezes, a aplicação de verbas destinadas à estruturação de equipamentos públicos, às obras de infraestrutura e de esgotamento sanitário, tão vitais à integração da área como “bairro oficial” do município e ao bem-estar dos cidadãos. Conceituada como medidas jurídicas, urbanísticas, ambientais e sociais, destinada à incorporação dos núcleos urbanos informais, ao ordenamento territorial urbano e à titulação dos ocupantes, a Regularização Fundiária deve ser entendida como uma política “guarda-chuva”, ten-

do em vista recepcionar em seu bojo a titulação dos ocupantes, a implementação de saneamento básico, o desenvolvimento sustentável, a melhoria das condições de habitabilidade e a integração social dos ocupantes à cidade formal (MARTINS, 2021).

A regularização fundiária é um processo que visa legalizar a permanência de moradias que foram instaladas de forma irregular, clandestina ou quando não foi possível a titulação de seus ocupantes, mesmo que atendessem à legislação em vigor à época de sua implantação ou regularização. Os procedimentos para a Regularização Fundiária Urbana (Reurb) estão previstos, no âmbito federal, na Lei nº 13.465/2017 e nos Decretos regulamentadores nº 9.310/2018 e nº 9.597/2018. Duas modalidades de Reurb foram definidas: Reurb de Interesse Social (Reurb-S), quando envolver ocupações informais caracterizadas predominantemente por população de baixa renda; e Reurb de Interesse Específico (Reurb-E), aplicável aos outros casos que não se enquadram em Reurb-S (Brasil, 2017).

O objetivo da regulação fundiária urbana de interesse social é a garantia de um dos direitos fundamentais do cidadão para uma vida digna, qual seja: o direito à moradia. Acrescentam-se, ainda, as condições urbanas às oportunidades econômicas, educacionais e culturais que a cidade oferece (NUNES; FIGUEIREDO JUNIOR, 2018).

No artigo 39 da Lei 13.465/2017, em núcleos urbanos informais, ou de parcelas deles, situados em áreas de risco geológico-geotécnicos, somente é admitida a regularização fundiária por meio de aprovação do projeto, contendo estudos técnicos que possibilitem a eliminação, correção ou administração de riscos. Assim, a implantação das medidas indicadas nos estudos técnicos é condição indispensável à aprovação da regularização fundiária. Na Reurb-S que envolva áreas de riscos que não comportem eliminação, correção ou administração, os Municípios deverão proceder à realocação dos ocupantes do núcleo urbano informal a ser regularizado (Brasil, 2017).

De acordo com as exigências normativas, uma das etapas principais da Reurb é a elaboração do projeto de regularização fundiária. Nos casos de ocupações irregulares em área de risco ou área de proteção ambiental, deverá ser elaborado

um estudo técnico para avaliação do risco geológico-geotécnico à permanência dos ocupantes; e/ou um estudo técnico ambiental, quando envolver núcleos urbanos informais em Áreas de Preservação Permanente (APP) – Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012; Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável - Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, ou área de proteção de mananciais, definidas pela União, Estados ou Municípios. As unidades que não se encaixam nesses casos poderão ter os seus projetos deferidos sem a necessidade de elaboração de tais laudos.

O objetivo deste artigo é mostrar a importância da utilização correta dos mapeamentos disponíveis atualmente e qual deve ser utilizado no processo de regularização fundiária, item importantíssimo nos estudos ambientais exigidos pela Lei 13.465/2017.

2 TIPOS DE MAPEAMENTO DE RISCO

Desde a década de 1980, foram aplicados no Brasil vários produtos cartográficos, como por exemplo, as cartas geotécnicas.

Os mapeamentos de risco vêm sendo realizados utilizando diferentes metodologias, de acordo com os objetivos esperados. Dessa forma, tem-se os mapeamentos de risco com metodologia do Ministério das Cidades/IPT (2007) e a setorização de risco alto e muito alto como os mais aplicados no país e no estado de São Paulo, dentro do universo da cartografia de risco.

2.1 Mapeamento de risco

Os aspectos tratados neste item são encontrados no livro “Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios”, de autoria do Ministério das Cidades e do IPT em 2007 (Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2007). Ressalta-se que a metodologia de mapeamento de riscos de escoamento e inundação constante neste livro é adotada nacionalmente pelo Governo Federal.

Em campo são observados e anotados em fichas de campo, diversos condicionantes geológico-geotécnicos importantes para a caracterização dos processos de instabilização de encostas em

áreas urbanas, como: geometria da encosta, tipos de materiais mobilizados (solo / rocha / lixo / detritos, etc.), tipologia de escorregamentos ocorrentes ou esperados, tipo de talude (natural, corte ou aterro), condição de escoamento e infiltração

de águas superficiais e servidas (Quadro 1). Estes parâmetros estão relacionados à análise da possibilidade de ocorrência de processos de movimentos de massa na área de estudo.

Quadro 1. Principais dados levantados em campo para caracterizar os setores de risco.

CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	
<ul style="list-style-type: none"> • Unidade de análise: Encosta/Margem de córrego • Tipos de construção: Alvenaria/Madeira/Misto • Condição das vias • Encosta natural • Talude de corte/Aterro • Presença de maciço rochoso • Altura da encosta, ou talude, ou maciço rochoso • Inclinação da encosta, ou talude, ou maciço rochoso • Distância da moradia com relação ao topo/base da encosta, talude, maciço rochoso • Estruturas em solo/rocha desfavoráveis • Presença de blocos de rocha/matacões • Presença de Depósitos de encosta: aterro/lixo/entulho 	
EVIDÊNCIAS DE MOVIMENTAÇÃO	ÁGUA
<ul style="list-style-type: none"> • Trincas na moradia • Trincas no terreno • Degraus de abatimento • Muros e paredes “embarrigados” • Árvores, postes e muros inclinados • Solapamento de margem • Cicatrizes de escorregamentos • Fraturas no maciço rochoso 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentração de água de chuva em superfície • Lançamento de água servida em superfície • Vazamento de tubulação • Fossa • Surgências d’água • Sistema de drenagem superficial: inexistente/precário/satisfatório
VEGETAÇÃO NA ÁREA OU PROXIMIDADES	MARGENS DE CÓRREGO
<ul style="list-style-type: none"> • Presença de árvores • Vegetação rasteira (arbustos, capim, etc) • Área desmatada • Área de cultivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de canal (retificado/natural), (retilíneo/meandrante), (assoreado/lixo/entulho) • Altura do talude marginal • Distância da moradia com relação ao topo do talude marginal

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2007).

Nas fichas também são considerados aspectos específicos, tais como o padrão construtivo das habitações (madeira, alvenaria, misto), e a posição das mesmas em relação ao raio de alcance dos processos ocorrentes ou esperados. Observa-se ainda o estágio da ocupação atual, incluindo aspectos gerais sobre infraestrutura urbana implantada, tais como: condições das vias (pavimentada, terra, escadarias), sistemas de drenagem e esgoto, pontes e outras melhorias urbanas. Assim, além da caracterização dos processos de instabilidade, se contempla parâmetros de análise da vulnerabilidade em relação às formas de uso e ocupação presentes nas áreas de risco. Desta forma, são identificados os processos de instabilização

predominantes, delimitando e caracterizando os setores de risco.

Os setores de risco são delimitados, em campo, sobre as fotografias oblíquas de baixa altitude obtidas nos voos de Drone, e classificados segundo os seus graus de risco.

Os critérios de julgamento da probabilidade de ocorrência dos processos de instabilização relativos a escorregamentos, bem como os parâmetros analisados para o desenvolvimento dos trabalhos, são apresentados no Quadro 2, a partir de Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2007). Esta classificação foi modificada pelo IPT com a inclusão de SM - Setor de Monitoramento. Este quadro mostra que os graus

de risco são classificados em quatro níveis, sendo, Risco Baixo (R1) e Risco Médio (R2) (ambos reunidos em Setor de Monitoramento), Risco Alto (R3) e Risco Muito Alto (R4), os quais apresentam descrições que mencionam tanto a possibilidade ou

potencialidade de desenvolvimento do processo de movimento de massa (especificamente, neste caso, os escorregamentos), como a vulnerabilidade do meio.

Quadro 2. Critérios utilizados para determinação dos graus de probabilidade de ocorrência de processos de instabilização do tipo escorregamentos em encostas ocupadas e solapamento de margens de córregos.

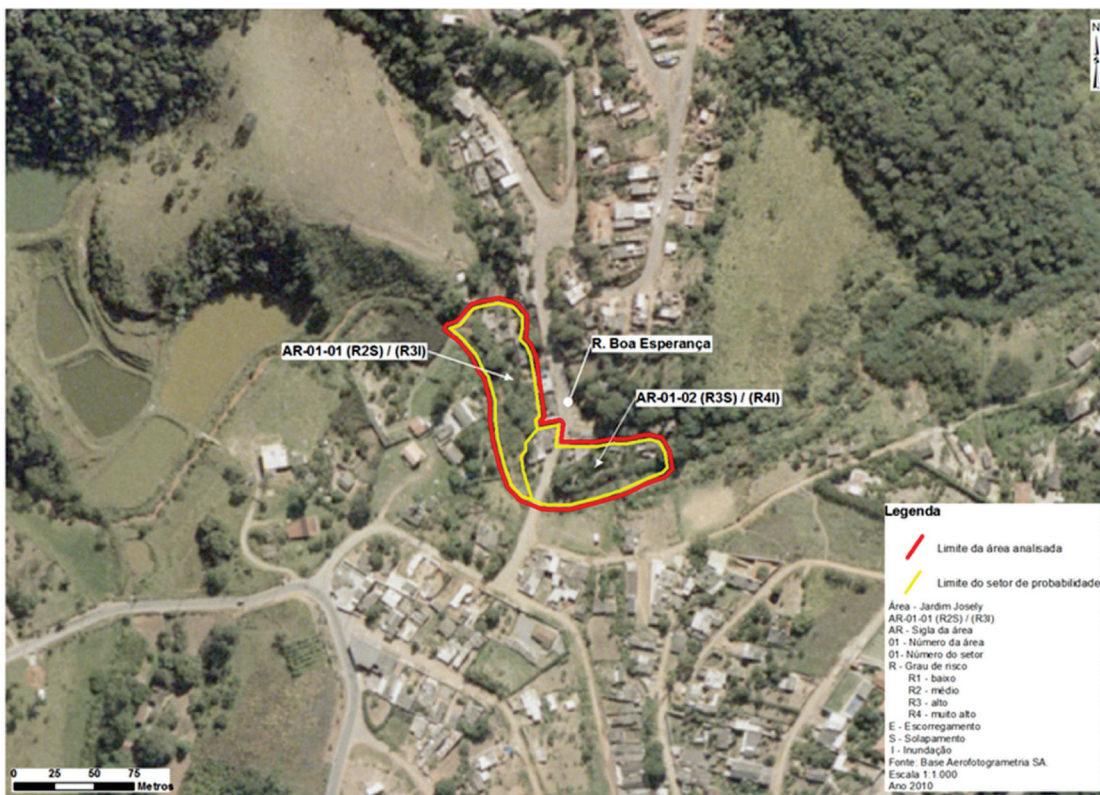
GRAU DE RISCO		DESCRIÇÃO
SM Setor Monitoramento	R1 Baixo	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de BAIXA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. NÃO HÁ INDÍCIOS de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, NÃO SE ESPERA a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
	R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de MÉDIA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de ALGUMA(S) EVIDÊNCIA(S) de instabilidade, porém incipiente(s). Mantidas as condições existentes, É REDUZIDA a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R3 Alto		Os condicionantes geológico-geotécnicos e o nível de intervenção no setor são de ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de SIGNIFICATIVA(S) EVIDÊNCIA(S) de instabilidade. Mantidas as condições existentes, É PERFEITAMENTE POSSÍVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R4 Muito Alto		Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de MUITO ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade SÃO EXPRESSIVAS E ESTÃO PRESENTES EM GRANDE NÚMERO E/OU MAGNITUDE. É a condição mais crítica. Mantidas as condições existentes, É MUITO PROVÁVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

Fonte: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2007).

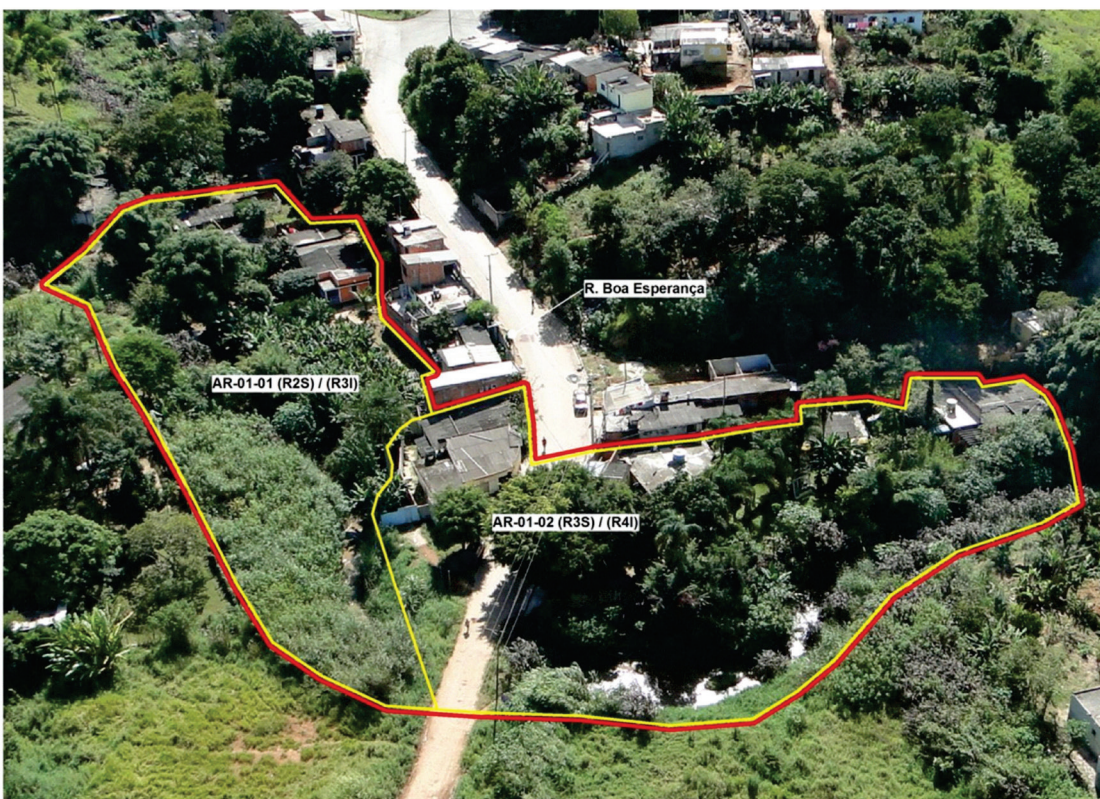
Como especificado anteriormente, os setores mapeados como sendo de graus de risco Baixo (R1) e Médio (R2) recebem indicações de medidas estruturais e não estruturais semelhantes. Para facilitar o entendimento e uso dos mapeamentos, neste trabalho os setores assim classificados foram agrupados nos denominados Setores de Monitoramento (SM), estando ocupados ou não por moradias. Tal ação visa identificar a necessidade de se trabalhar o planejamento da expansão urbana diante do contexto que afeta gravemente as cidades brasileiras, as quais vêm apresentando

durante décadas formas indevidas de utilização dos espaços urbanos. É um meio de se trabalhar a ausência de processos de planejamento, visando atender a interesses coletivos de forma ampla, buscando conjuntamente a proteção ambiental e o direito do cidadão a sua cidade mais sustentável.

A Figura 1 apresenta um exemplo de mapeamento de risco segundo a metodologia do Ministério das Cidades (Ministério das Cidades/IPT, 2007). Na Figura 1a tem-se a delimitação dos setores em foto vertical e na Figura 1b a delimitação em foto oblíqua.



a) Delimitação em Foto Vertical



b) Delimitação em Foto Vertical

Figura 1. Exemplo de mapeamento de risco com a delimitação dos setores e a definição do grau de risco para o município de Arujá.

A partir da delimitação dos setores de risco pode-se fazer a indicação das intervenções estruturais e não estruturais necessárias para a redução do grau de risco, elaborando desse modo o Plano

Municipal de Redução de Risco. A Figura 2 apresenta uma área com a delimitação dos setores e as intervenções necessárias para a redução do grau de risco.



Figura 2 - Exemplo de mapeamento de risco com a indicação de intervenções estruturais.

2.2 Setorização de risco

No âmbito do governo federal, a partir do PPA 2012/2016, os mapeamentos passaram a ser coordenados pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) do Ministério da Integração que optou por uma metodologia de menor detalhe desenvolvida e executado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a partir do método Ministério das Cidades / IPT (2007). Nesta setorização temos o mapeamento de setores de alto e muito alto risco. No estado de São Paulo o IPT

também executa este mapeamento para a Defesa Civil Estadual, como uma cooperação com os levantamentos estaduais.

A setorização é muito útil para as defesas civis municipais, principalmente nos municípios carentes de informações técnicas, bem como para o monitoramento e alerta de desastres realizado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN).

A Figura 3 apresenta um exemplo da setorização de risco realizado pelo IPT.

bastante eficaz tanto para a solução habitacional como para as situações de risco.

As condições de exposição aos riscos, principalmente os de caráter natural como deslizamentos e inundações, têm dificultado a regularização fundiária nas nossas cidades e precisam ser reconhecidas por meio de mapeamentos e resolvidas com intervenções estruturais. É preciso deixar claro que o mapeamento de riscos e a solução dos problemas detectados é uma das condicionantes para o processo de regularização existindo ainda o condicionante ambiental, a infraestrutura urbana e as questões de propriedade das áreas na sua forma integral.

O importante é compreender que cada um dos instrumentos tem a sua vocação e deve ser para isto utilizado. Os mapeamentos de áreas de risco, por exemplo, não são adequados para determinar o planejamento da cidade, mas são ferramentas importantes no processo de regularização fundiária, para a implementação das intervenções estruturais para redução do grau de risco e também para o monitoramento das áreas de risco durante a operação do Plano Preventivo de Defesa Civil e nos atendimentos de emergência. A setorização de risco é de suma importância para o monitoramento instrumento este utilizado pelo Cemaden e pelas defesas civis.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 13.465, de 11 de julho de 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Aglomerados subnormais 2019: classificação preliminar e informações de saúde para o enfrentamento à COVID-19: notas técnicas. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

MARTINS, D. A. Ações Afirmativas Sobre a Regularização Fundiária em Área de Mananciais. In: Ensaio para Construção de Consenso na Ocupação de Áreas de Proteção de Mananciais na Região Metropolitana de São Paulo. OAB, 2021.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Carvalho, C.S., Macedo, E.S., Ogura, A.T. (eds). Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Brasília. (ISBN 978-85-60133-81-9). 2007. 176p.

NUNES, M. A. da C.; FIGUEIREDO JUNIOR, C. M. A. Regularização fundiária urbana: estudo de caso do bairro Nova Conquista, São Mateus.

OS TIPOS DE SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NO DESEMPENHO DE ANCORAGENS REINJETÁVEIS

TYPES OF SOILS AND THEIR INFLUENCES ON THE PERFORMANCE OF REINJECTABLE ANCHORAGES

LUCAS DE ARAUJO ESTANQUEIRO

Engenheiro, Universidade Federal Fluminense, lucasestanqueiro@gmail.com

RUBENEI NOVAIS SOUZA

Engenheiro, Universidade Federal Fluminense, rubenei@petrobras.com.br

RESUMO ABSTRACT

Os tirantes ancorados no terreno, constituídos por elementos resistentes a tração ancorados no maciço e protendidos, representam uma das diversas soluções para sistemas de contenção de encostas, taludes e escavações em geral e têm como principal característica o alto nível de controle dos deslocamentos horizontais da contenção graças à protensão do tirante, que possibilita incorporar a reação necessária antes da atuação do empuxo de terra. Embora os tirantes já vêm sendo amplamente executados desde a metade do século XX, não houve grande desenvolvimento teórico sobre a influência do tipo de solo e da técnica construtiva no seu desempenho, possivelmente em razão da verificação de desempenho de cada elemento que o próprio procedimento executivo possibilita por meio da sua protensão. Contudo, como uma estimativa representativa do comportamento do tirante tende a possibilitar projetos mais econômicos e previsíveis, o presente trabalho busca contribuir com esse desenvolvimento teórico apresentando um estudo sobre os tipos de solo e a influência de seus parâmetros no desempenho deste elemento de contenção.

Palavras-Chave – estabilidade de encosta; tipos de solos; estruturas de contenção.

The tieback anchored in the soil, which consists of tensile-resistant element grouted in the soil and prestressed, represents one of several solutions for retaining systems and has as main characteristic the high control of horizontal displacements on retaining walls due to the pretension of tensile-resistant element that making possible to incorporate the necessary reaction before the performance of the earth buoy. Although the tieback has been widely executed since the middle of the 20th century, there were little theoretical development on the influence of the soil type and the constructive technique on its behavior, possibly due to the verification of performance of each element that the executive procedure itself enables through its pretension. However, as a representative estimate of the tieback behavior tends to result more economical and predictable projects, this paper seeks to contribute to this theoretical development by presenting a study about the influence of soil parameters on the tieback behavior.

Keywords – slope stability; soil types; containment structures.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os tirantes ancorados e protendidos em solos e rochas são executados largamente em diversos países. Comumente as técnicas

de perfuração, injeção, tipo de tirante, proteção e montagem podem variar de local para local, mas sempre mantendo as características do elemento representadas pela Figura 1 abaixo.

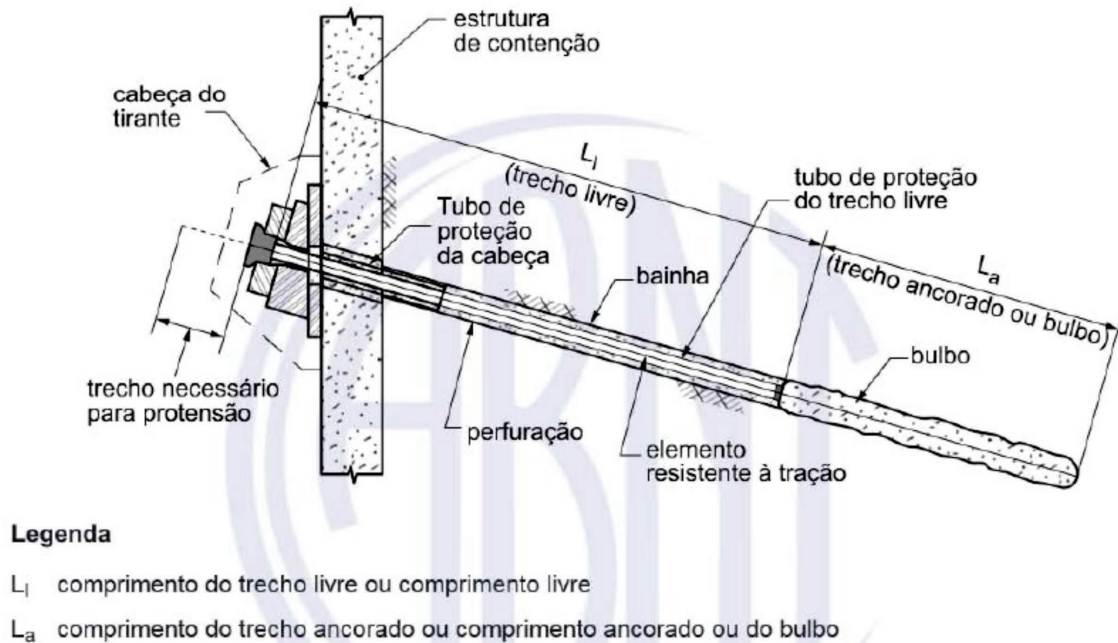


Figura 1. Elementos básicos do tirante. Fonte: ABNT NBR 5629:2018 – Tirantes Ancorados no Terreno – Projeto e Execução

As cargas de trabalho dos tirantes variam muito, sendo esta variação de acordo com a aplicação do elemento. Para obras urbanas comuns, estas cargas geralmente não ultrapassam 1500 kN (Souza, 2001).

Atualmente no Brasil, os tirantes são executados com o elemento de tração constituído por monobarras de aço de alta resistência com proteção anticorrosiva de fábrica ou por cordoalhas de aço galvanizadas, as quais geralmente são projetadas para trabalhar sob cargas superiores às monobarras.

Como os tirantes permitem a realização de ensaios e testes durante a fase de execução da obra, os conhecimentos teóricos sobre o assunto não foram muito aprofundados até então, a despeito de outras áreas da Engenharia Geotécnica, estando a evolução da técnica muito atrelada ao empirismo dos construtores (Habib, 1989).

Por este motivo, é comum encontrar projetos de tirantes ancorados no terreno a nível básico, uma vez que o projetista ainda depende muito das informações do Acompanhamento Técnico de Obra e do próprio executante para revisar os parâmetros iniciais do projeto.

2 OBJETIVO

O objetivo principal do presente trabalho é contribuir para o melhor esclarecimento da influência dos parâmetros do solo na programação das etapas de execução e no desempenho do tirante, a qual ainda não está plenamente consolidada no meio técnico, bem como complementar as informações das normas técnicas pertinentes, contribuindo desta forma para a melhor atuação de projetistas e executores de obras de contenção.

3 INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE SOLO

O tipo de solo como influência no comportamento de tirantes ancorados se dá pelas características naturais, como por exemplo resistência ao cisalhamento, ângulo de atrito, deformabilidade, mas também pelo que é definido como grau de injetabilidade, isto é, a intensidade da influência de injeção do aglutinante na melhoria das propriedades naturais do solo, e, conseqüentemente, do desempenho dos tirantes.

Segundo Guimarães Filho (1984), a injeção de calda de cimento em altas pressões na execução de tirantes é imprescindível, pois atua superando a reação do solo, deformando-o, fissurando-o e preenchendo seus vazios. Nesta ação, que pode ser repetida em fases consecutivas, o solo ganha um tratamento que aumenta significativamente sua resistência junto ao trecho injetado.

Souza (2001), tendo como base experiência de obras executadas e trabalhos de alguns pesquisadores, aponta que o efeito benéfico das injeções de calda de cimento sob alta pressão, na execução dos bulbos ancorados dos tirantes, pode ser analisado sob os seguintes aspectos:

- Aumentos consideráveis na densidade do solo, diâmetro médio do bulbo, ângulo de atrito interno do solo adjacente e tensão normal na interface bulbo-solo;
- Melhoria das características de resistência e deformabilidade do solo a partir da penetração de calda de cimento nos vazios e descontinuidades;
- Quando utilizado aditivo expansivo, expansão da calda de cimento, potencializando o aumento da tensão normal na interface bulbo-solo, no caso de solos muito resistentes.

Estes três aspectos se manifestam com intensidades diferentes de acordo com as características do solo, e uma análise destas diferenças permite classificar os solos de acordo com o seu grau de injetabilidade, conforme se discute a seguir. Considerando que a técnica de utilização de aditivo expansivo na calda de cimento não tem sido adotada, nem em obras nem em estudos, o último aspecto mencionado não será abordado.

Para solos arenosos fofos, é de se esperar que a injeção de calda de cimento sob alta pressão au-

mente de maneira significativa o diâmetro médio do bulbo, além do ângulo de atrito interno do solo adjacente. Espera-se também que a tensão normal na interface bulbo-solo aumente apenas de maneira razoável, uma vez que em terrenos arenosos fofos o aumento da tensão confinante ocorre a partir de grande deformação. Por fim, a quantidade grande de vazios tende a diminuir a partir do preenchimento com calda de cimento.

Já em solos arenosos compactos, espera-se que a injeção sob pressão não altere tanto o diâmetro médio do bulbo, por conta da compactidade elevada do material, mas aumente significativamente a tensão normal na interface bulbo-solo e o ângulo de atrito interno do solo adjacente a partir do preenchimento dos vazios criados pela injeção de calda.

Em argilas moles, é de se esperar um aumento do diâmetro médio do bulbo e da coesão do solo adjacente, mas a tensão normal na interface bulbo-solo não terá aumentos significativos.

Em argilas de alta consistência, o aumento do diâmetro médio do bulbo tende a ser pequeno, mas o aumento da tensão normal na interface bulbo-solo tende a ser significativo. O ângulo de atrito interno, que inicialmente já é baixo, tende a não ter alteração apreciável.

Intuitivamente, para solos siltosos, de características intermediárias entre areias e argilas, a ação da calda de cimento tem magnitude também intermediária entre as observadas acima.

Portanto, conforme supracitado, é adequado inferir que a estrutura dos tipos de solos é o principal fator para a determinação do grau de injetabilidade do mesmo. Como a estrutura detalhada dos solos é missão complexa devido às diversas dificuldades encontradas na Engenharia de Solos – determinação de índice de vazios, tamanho e forma de ocorrência dos vazios, determinação do tamanho, forma e aglutinação dos grãos, homogeneidade, índices de resistência e deformabilidade – muito por conta das informações superficiais retiradas das investigações geotécnicas, é recomendável utilizar dados relativos à granulometria do solo, combinados à sua compactidade para definir de maneira qualitativa o grau de injetabilidade de cada grupo de solo, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Grau de injetabilidade dos vários grupos de solo.

Tipo de solo	Compacidade ou consistência	Grau de injetabilidade parcial			Grau de injetabilidade global
		Aumento do diâmetro do bulbo	Aumento da tensão normal	Tratamento do solo	
Areia média e grossa	Fofa	Alto	Baixo	Alto	Alto
Areia média e grossa	Compacta	Baixo	Alto	Médio	Médio
Areia fina	Fofa	Alto	Baixo	Médio	Médio
Areia fina	Compacta	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Silte	Fofa	Alto	Baixo	Médio	Médio
Silte	Compacto	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Argila	Mole e média	Alto	Baixo	Médio	Médio
Argila	Rija e dura	Baixo	Alto	Baixo	Baixo

Fonte: Souza (2001)

A tabela 1 exposta acima mostra que, para um tirante executado em areia fofa, por exemplo, a injeção em alta pressão de calda de cimento tem a probabilidade grande de melhorar de forma considerável as características de resistência natural do solo, possibilitando para este caso, ser dimensionado um bulbo - trecho ancorado - de menor comprimento, e conseqüentemente aplicar menos recursos na injeção. De forma contrária, para um tirante executado em argila dura, a injeção em alta pressão de calda de cimento, não tende a melhorar de maneira tão considerável as características de resistência naturais do solo, levando a um dimensionamento de bulbos com maiores comprimentos.

Analisando o solo local como meio resistente às cargas transferidas pelo trecho ancorado, é verificado, conforme exposto acima, que determinadas características naturais do solo tem a capacidade de influenciar de maneira significativa no comportamento do tirante. A consistência ou compacidade dos solos tem influência significativa na capacidade de carga e na rigidez do tirante. Pode-se dizer que a capacidade de carga deste elemento será maior quanto mais compacto ou consistente for o material, não considerando o efeito da perfuração e injeção. Em próximo trabalho será visto que a técnica de perfuração em conjunto com a injeção de calda de cimento combinados com o tipo de solo, pode determinar o comportamento do tirante.

Analogamente ao já exposto, é de se esperar que a magnitude do deslocamento relativo do

trecho ancorado-solo também é influenciada pelo solo vizinho, levando em consideração sua rigidez, esperando-se que em solos mais compactos ou resistentes, este trecho necessite de um menor deslocamento relativo para mobilizar a resistência do tirante.

Já a variação da tensão tangencial mobilizada no sistema trecho ancorado-solo, em função do deslocamento do bulbo, após atingir o valor limite, tem chamado a atenção de pesquisadores. Tal variação está diretamente associada ao estado de tensões e nem tanto com o tipo de solo que é solicitado.

4 CONCLUSÕES

Em relação aos dados de entrada e elaboração do projeto desses elementos, verifica-se que a resistência média representativa e a granulometria do maciço são as informações mais relevantes, pois determinam o comprimento ancorado de projeto e o plano de injeção a ser recomendado para a obra.

Em solos arenosos verifica-se que, além da técnica de perfuração, que pode influenciar na capacidade de carga do tirante, alterando as características naturais do solo local devido à circulação de água e ausência de revestimento, por exemplo, o tipo de mistura injetada e o procedimento de injeção são muito importantes. Como o material tem alto grau de injetabilidade, a utilização da mistura apropriada, que deve ser pouco viscosa, mas coesa, e de um procedimento de injeção que con-

temple fases sucessivas com pressões crescentes, tende a resultar em bom desempenho do tirante.

Em solos argilosos, em linhas gerais, verifica-se que o diâmetro perfurado tem grande influência na capacidade de carga do tirante, uma vez que o grau de injetabilidade destes tipos de solo é pequeno, o que não permite um aumento considerável do diâmetro médio do bulbo, delegando à perfuração a necessidade de um furo com o diâmetro tanto maior quanto possível.

Finalmente, levando-se em consideração o estudo dos parâmetros, nota-se a importância de uma análise criteriosa deste parâmetro na fase de elaboração dos projetos de tirantes ancorados no terreno, mas não se limitando somente às informações pertinentes às injeções, como também perfuração, montagem e instalação, além de um controle minucioso para que o trecho livre tenha o contato com o aglutinante preservado.

5 SUGESTÕES

Como sugestão para pesquisas futuras propõe-se uma coleta mais abrangente de dados de obra, que possibilitem comparar resultados de ensaios de tirantes associados a dados bem aferidos de obra, de maneira a detalhar e, eventualmente, quantificar as respectivas influências no comportamento carga-deslocamento do tirante.

Aos executantes e projetistas, que procurem utilizar as referências bibliográficas para além da norma técnica referida, para desta forma, aprimorar cada vez mais as técnicas de projeto e execução de tirantes ancorados.

Aos graduandos, que possivelmente terão contato com este artigo, que busquem desenvolver pesquisas no âmbito da academia para consolidar os parâmetros executivos e de projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT NBT 5629:2018 - Tirantes Ancorados no Terreno - Projeto e Execução.

GUIMARÃES FILHO, J.D. (1984). "Consolidação de solos por injeções: discussão sobre uma prática bem-sucedida, mas que não está de acordo com as teorias clássicas existentes". Revista Solos e Rochas, ABMS, v.7, pp. 99-107

HABIB, P. (1989). "Recommendations for the design, calculation, construction and monitoring of ground anchorages". A.A. Balkema, Rotterdam;

SOUZA, R.N. (2001). "Ancoragens reinjetáveis e pretendidas em solo: previsão do comportamento e controle de execução. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Estruturas e Fundações, São Paulo.

Artigo apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

DEFINIÇÃO DE COEFICIENTES DE PRECIPITAÇÃO CRÍTICA (CPC) PARA EMISSÃO DE ALERTAS DE ESCORREGAMENTO NAS RODOVIAS SP-055 E SP-098, LITORAL NORTE PAULISTA

DEFINITION OF CRITICAL PRECIPITATION COEFFICIENTS (CPC) FOR ISSUE OF LANDSIDE ALERTS ON SP-055 AND SP-098 HIGHWAYS, NORTH COAST OF SÃO PAULO STATE

GUILHERME NUNES FERNANDEZ

Geólogo, REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, guilherme@regea.com.br

PEDRO MACHADO SIMÕES

Geólogo, REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, pedro.simoes@regea.com.br

FERNANDO MACHADO ALVES

Geólogo, REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, fernando@regea.com.br

TOBIAS REHDER DA CUNHA PATUCI

Engenheiro, REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, tobias.rehder@regea.com.br

CLAUDIO JOSÉ FERREIRA

Geólogo, Instituto de Pesquisas Ambientais, cferreira@sp.gov.br

FERNANDO FACCIOLLA KERTZMAN

Geólogo, GEOTEC Consultoria Ambiental, fernando@geotecbr.com.br

RESUMO ABSTRACT

Os recentes episódios de ocorrências de escorregamentos nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia demonstram a necessidade do aumento do entendimento entre a correlação entre a deflagração destes processos geológicos e a incidência de chuvas, tanto com relação aos índices acumulados quanto em relação à sua intensidade sobre os locais afetados. As rodovias SP-055 (Rio-Santos) e SP-098 (Mogi-Bertioga), localizadas no Litoral Norte do estado de São Paulo, apresentam largo histórico de ocorrências destes eventos. Com o objetivo de definir parâmetros que auxiliem na gestão destes cenários de risco geológico, foram levantados e sistematizados os dados de chuva e de escorregamentos ocorridos entre os anos de 1993 e 2020 nestas rodovias. A partir deste histórico foram identificados os episódios de chuvas

The recent episodes of landslides in the states of São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, and Bahia show the need to increase the acknowledgment of the correlation between the triggering of these geological processes and the incidence of rainfall, such as the accumulated ratios as much as the intensity on the affected sites. The SP-055 (Rio-Santos) and SP-098 (Mogi-Bertioga) highways, located on the North Coast of the state of São Paulo, have a long history of occurrences of these events. In order to define parameters that help in the management of these geological risk scenarios, data on rainfall and landslides that occurred between 1993 and 2020 on these highways were collected and systematized. From this historic, the episodes of rain with triggering or absence of landslide events were identified, from

com deflagração ou ausência de eventos de escorregamentos, a partir dos quais foi possível calcular a probabilidade de ocorrências deste tipo. Também foram definidas quatro regiões das rodovias em função do comportamento semelhante para a deflagração de escorregamentos por chuvas, e para cada trecho foram definidas as equações que descrevem os respectivos Coeficientes de Precipitação Crítica (CPC). Foram estabelecidas faixas de CPC que apresentam maior ou menor probabilidade de ocorrência de escorregamentos, servindo como importante ferramenta para a gestão de risco das rodovias, evitando que futuros escorregamentos acarretem perdas de vidas e maiores prejuízos econômicos e sociais.

Palavras-Chave – Coeficientes de Precipitação Crítica; Risco Geológico, Escorregamentos; Pluviometria; Gestão de Riscos.

1 INTRODUÇÃO

O modelo de correlação entre chuvas e escorregamentos aqui apresentado é parte do projeto de “Elaboração de Planos de Contingência frente a riscos de eventos geodinâmicos em trechos rodoviários selecionados das Unidades Básicas de Atendimento (UBA) do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) de Caraguatatuba, Mogi das Cruzes e São Vicente”, parte do Programa Transporte, Logística e Meio Ambiente do Projeto Transporte Sustentável de São Paulo, implementado pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP. Este projeto foi elaborado pela REGEA em parceria com a GEOTEC e OPT GIS, sob a supervisão técnica do Instituto Geológico (IG), atualmente Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

A etapa do projeto relativa à definição da correlação entre chuvas e escorregamentos foi iniciada com a revisão bibliográfica para seleção da metodologia a ser utilizada. Subsequentemente, foram realizadas as análises de pluviometria e de registros de escorregamentos ocorridos na área de

which it was possible to calculate the probability of occurrences of this type. There were also defined four regions of the highways, due to the similar behavior for the triggering of landslides by rain, and for each of these sections, the equations that describe the respective Critical Precipitation Coefficients (CPC) were defined. The CPC ranges established present a greater or lesser probability of the occurrence of landslides, serving as an important tool for the risk management of the highways, preventing future landslides from causing loss of life and greater economic and social losses.

Keywords – Critical Precipitation Coefficients; Geological Hazard, Landslides; Pluviometry; Risk Management.

estudo, culminando na correlação entre chuvas e os eventos de escorregamentos. Esta correlação estabeleceu os limiares críticos de precipitação que foram utilizados no Plano de Contingência e para definir os alertas emitidos a partir do Sistema Automatizado de Análise, Monitoramento e Alerta de Risco de Eventos Geodinâmicos, elaborados para o projeto.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo se localiza ao longo das Rodovias Mogi-Bertioga (SP-098) e Rio-Santos (SP-055), no litoral norte do Estado de São Paulo, compreendendo trechos das rodovias SP-055 (km 53+600 ao km 248+100) e SP-098 (km 62+900 ao km 98+100) que totalizam 229,7 km de extensão (**Figura 1**), em uma faixa de 1 km de largura a partir do eixo das rodovias.

As UBAs responsáveis pela conservação de cada trecho são: UBA 06.04, Caraguatatuba (SP-055, km 53+600 ao km 127+800), UBA 05.04, São Vicente (SP-055, km 127+800 ao km 248+100), e UBA 10.04, Mogi das Cruzes (SP-098, km 62+900 ao km 98+100).

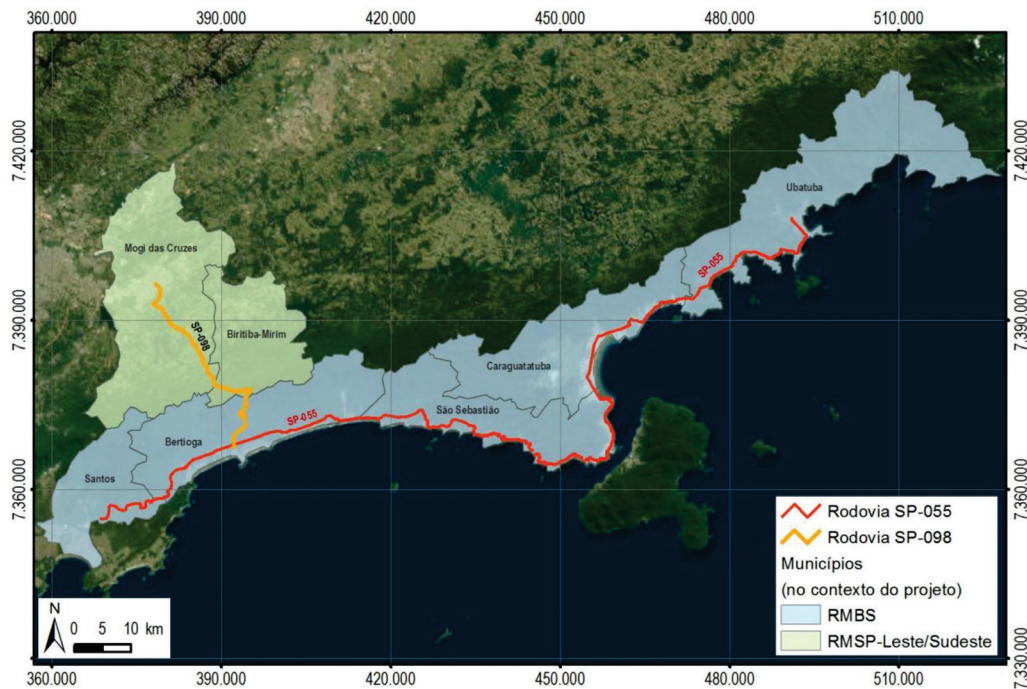


Figura 1. Localização da área de estudo do projeto.

3. METODOLOGIA

Diferentes estudos realizados no Brasil e em outros países procuram expressar a relação matemática entre chuvas e escorregamentos. Em cada um destes estudos, são propostos diversos parâmetros e períodos de abrangência de pluviosidade acumulada, visando estabelecer uma relação consistente que permita uma melhor previsibilidade de deflagração de escorregamentos para as diferentes localidades analisadas (Fernandez, 2018).

Para definição da correlação entre chuvas e escorregamentos, a maior parte dos trabalhos indica análises de chuvas instantâneas ou de poucas horas, avaliadas em conjunto com intervalos de 72h ou de 96h, sendo este último adotado por Tatizana et al. (1987a, b) para a análise do CPC - Coeficiente de Precipitação Crítica em Cubatão (SP) na região da Serra do Mar.

Em seu trabalho Tatizana correlaciona um histórico de 30 anos de escorregamentos, com dados pluviométricos de intensidade horária e acumulado de chuva nas 96h anteriores ao evento, e propõe funções matemáticas que descrevem as curvas que delimitam a envoltória de deflagração de movimentos de massa.

4. BANCO DE DADOS

Foram adquiridos e sistematizados dados relativos à ocorrência de eventos geodinâmicos na área de estudo, assim como dados de pluviometria disponíveis no período avaliado. Assim, constitui-se um banco de dados que possibilitou a elaboração do modelo correlação entre dados de chuva e escorregamentos.

4.1 Cadastro e seleção de dados de escorregamentos

A partir dos dados levantados foram inicialmente coletados 9.285 registros de eventos geodinâmicos, dos quais 8.224 registros de eventos ocorridos entre 1993 e 2019 nos municípios da área de estudo, oriundos dos projetos de cadastramento de eventos e de mapeamentos de risco realizados pelo sob supervisão técnica do IG (2017a, 2020).

Dados específicos das rodovias SP-055 e SP-098 registraram 224 registros de eventos geodinâmicos, ocorridos entre 2002 e 2020. Estes registros foram disponibilizados nas sedes das DRs - Divisões Regionais e das UBAs. Somaram-se ainda, 837 registros e informações oriundos do Sistema de Gestão de Atendimento (SIGA) e do Sistema

de Acidentes de Transporte (SAT), ambos do DER, sobre acidentes de trânsito em períodos de chuva intensa entre 2018 e 2020.

Os registros de eventos geodinâmicos, que compreendem eventos geológicos, hidrológicos e meteorológicos, foram sistematizados e organizados em um Banco de Dados, cadastrados de acordo com a origem da informação, e com o grupo e tipo de evento geodinâmico (**Figura 2**). A partir deste banco de dados, foram selecionados apenas aqueles que permitiram maior correlação entre os dados pluviométricos disponíveis e sua influência nas faixas de domínio das rodovias.

Desta forma, foram estabelecidos critérios de seleção e validação de dados, visando estabelecer correlações bem definidas entre a incidência de chuvas e a ocorrência de escorregamentos. Os registros selecionados localização definida e próxima às rodovias, descrição de evento condizente com eventos de escorregamento, e indicação de data e hora de ocorrência. Após essa validação, foram excluídos registros duplicados de um mesmo evento.

Como resultado deste processo, foram selecionados 281 registros de eventos de escorrega-

mento no período de 1993 a 2020, associados às rodovias SP-055 e SP-098. Subsequentemente, estes eventos foram correlacionados com os dados de chuva disponíveis para o período de análise.

A coleta dos dados fornecidos pela rede pluviométrica do CEMADEN tem início a partir de 2013, e são conectados à rede de telemetria de transmissão automática de dados oriundos de pluviógrafos, desta forma, seus registros são mais detalhados que os registros históricos oriundos das outras fontes de dados, pois a partir de seus dados pode-se mensurar a intensidade horária das chuvas.

Para que fosse possível comparar e avaliar os valores de chuva necessários para a deflagração de escorregamentos, foram coletados dados de chuvas que não causaram estas deflagrações. Os dados analisados são relativos às ocorrências de chuvas com registros de pluviosidade acumulada superiores à 40 mm / 24h. Dentre os dados das estações pluviométricas, foram selecionados dados de 2.073 ocorrências de chuvas sem a deflagração de escorregamentos.

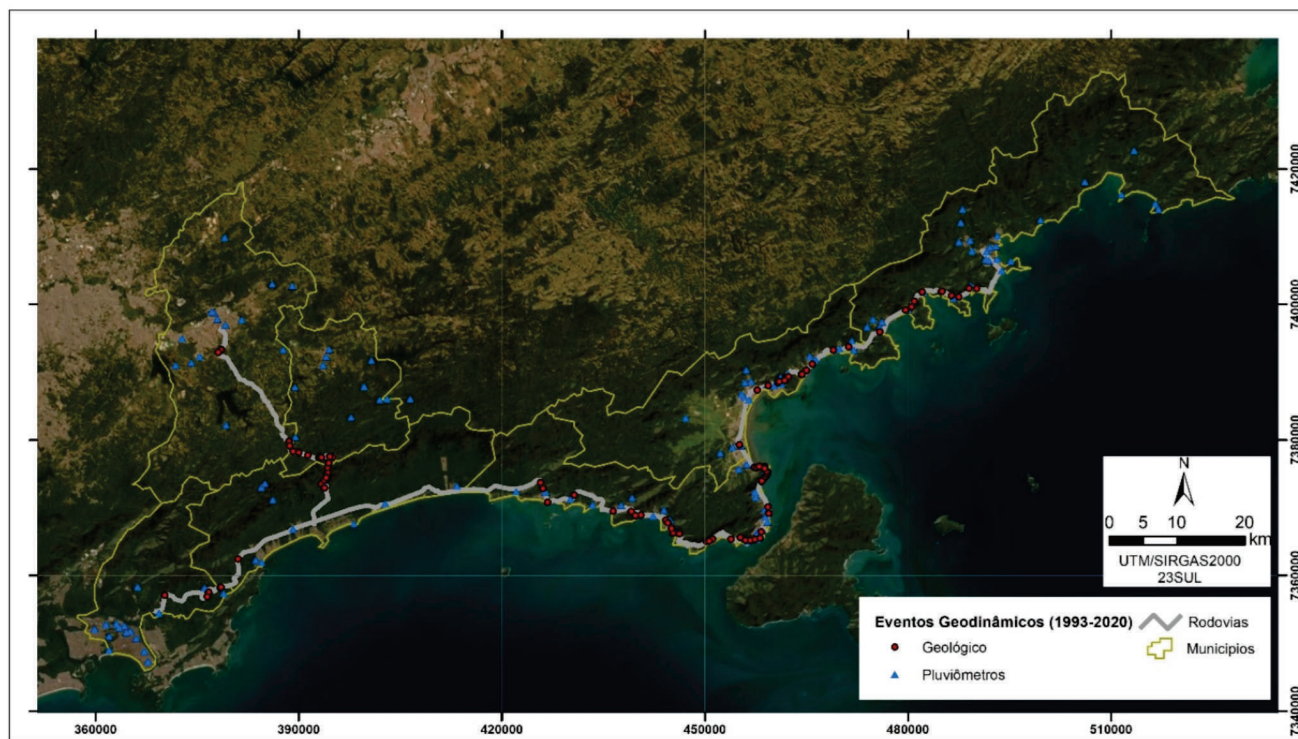


Figura 2. Localização dos pluviômetros, e dos eventos geológicos ocorridos nas rodovias entre 1993-2020, após processo de seleção a partir dos critérios estabelecidos para o projeto. (Fonte: REGEA, 2021).

4.2 Dados de chuva

Os dados de chuva foram levantados para o período de 1993 a 2020, sendo coletados a partir dos pluviômetros e pluviógrafos próximos à área de estudo, situados nos municípios interceptados pelas rodovias nos trechos avaliados.

Estes dados estão organizados e disponibilizados no portal HidroWeb, uma ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), oferecendo acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de chuvas, níveis fluviais, vazões, climatologia e qualidade da água.

Esta base de dados compreende dados de chuva coletados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, e Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN. Para o período de 1993 a 2020 foram avaliados ao todo, 104 pluviômetros e pluviógrafos na área de estudo (**Figura 2**).

5. ANÁLISE DOS DADOS E DETERMINAÇÃO DAS ENVOLTÓRIAS E DOS ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO CRÍTICA

Após a seleção da metodologia e dos dados que seriam utilizados para análise, os dados de pluviosidade acumulada e respectivos escorregamentos deflagrados foram ponderados para o estabelecimento da expressão matemática que permitisse a separação entre os eventos pluviométricos com ocorrência de escorregamentos daqueles sem a ocorrência destes eventos.

De maneira qualitativa, essa correlação pode ser explicada como: quanto menor a pluviosidade acumulada anterior, maior a necessidade de eventos instantâneos de chuva de altíssima intensidade para a deflagração de processos geodinâmicos; por outro lado, quanto maior o valor de acumulado de chuva, menor será o valor de intensidade horária de chuva necessária para a deflagração dos processos geodinâmicos.

A definição dos índices de precipitação crítica visa estabelecer a suscetibilidade a um escorregamento em função dos índices de chuvas, agregando intensidade e acumulado, resultando em envoltórias para deflagração de cada grupo de evento geodinâmico e sua extensão de danos.

5.1 Definição do intervalo pluviométrico

Com o intuito de prevenir eventuais omissões de dados em intervalos superiores, procedeu-se com a coleta de dados em intervalos de até 240h (10 dias) anteriores à data de ocorrência dos escorregamentos selecionados. Utilizando-se gráficos de dispersão, foram analisados os dados para verificação de relação entre eventos geológicos registrados e a intensidade de chuva e a chuva acumulada para os intervalos de 24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h, 192h, 216h e 240h.

Com a análise destes dados, foi possível confirmar que os eventos geológicos têm maior correlação quando são combinadas as informações de intensidade instantânea de chuva aos intervalos de 96h de chuva acumulada.

5.2 Análise espacial dos dados de chuvas e de escorregamentos

Uma vez determinados os intervalos de chuva a serem avaliados, os eventos que compõem o banco de dados foram classificados com base na correlação entre os parâmetros de análise, como meio físico, sua distribuição espacial e a ocorrência ou ausência eventos de escorregamentos. Dentre os diversos parâmetros analisados, apenas aqueles relacionados à quantidade de ocorrências registradas em uma única data, e a separação espacial de eventos de chuva com ou sem registros de escorregamentos separados por rodovias e municípios apresentaram bons resultados. Estes resultados permitiram a separação em quatro grupos de análises, denominados como Regiões, representados na **Figura 3**.

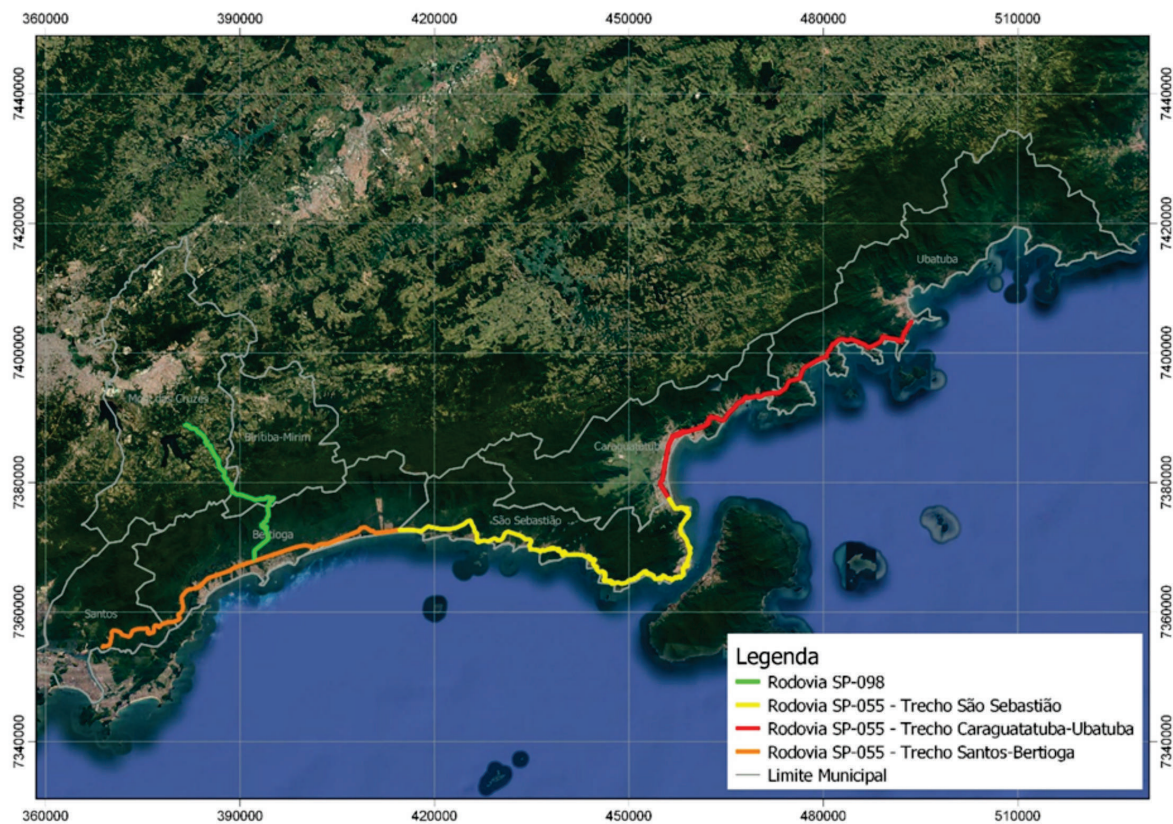


Figura 3. Localização das Regiões de análise definidas. Região 01: SP-098 (Bertioga, Biritiba-Mirim e Mogi das Cruzes; Região 02: SP-055 (Caraguatatuba e Ubatuba); Região 03: SP-055 (São Sebastião); Região 04: SP-055 (Bertioga e Santos).

5.3 Cenários de probabilidades analisados

Após a definição dos intervalos de tempo de pluviometria acumulada ideais para análise de correlação entre chuvas e escorregamentos, foram analisadas, ainda, as correlações de probabilidade de ocorrência entre os diferentes limiares acumulados e a deflagração de eventos.

Para os intervalos de 24h e 96h de chuvas acumuladas definidos para os escorregamentos, procedeu-se com a análise da probabilidade de ocorrência destes eventos em diferentes limiares pluviométricos, para cada um dos trechos rodoviários inseridos no território de cada uma das quatro regiões. Os limiares analisados foram delimitados entre 40mm e 250 mm de chuva acumulada, com a análise variando em intervalos de 10mm. A probabilidade verificada de ocorrência de eventos geodinâmicos foi construída a partir da análise dos dados de 1993 a 2020 que compõem o banco de dados do projeto, e esta análise permitiu a quantificação de datas com registros de

escorregamentos, bem como a quantificação de datas com chuvas superiores a 40mm/dia que não apresentam registro de ocorrências de eventos geológicos.

Após a análise da probabilidade de ocorrência de eventos geodinâmicos sob diferentes limiares de chuvas acumuladas nos intervalos de acumulação definidos, foi possível elaborar uma matriz de correlação entre a probabilidade e os limiares para os escorregamentos ocorridos sob condições de chuvas acumuladas em 24h e em 96h. A partir destas matrizes, foram construídos os gráficos de dispersão destes dados para cada uma das quatro regiões avaliadas, igualmente elaborados para os intervalos de 24h e 96h de chuva acumulada (**Figuras 4 e 5**). Os limiares de chuva escolhidos para a análise de probabilidade de ocorrência de eventos geodinâmicos foram inicialmente limitados entre 40mm e 250mm, os limites foram designados uma vez que entre eles está contida a grande maioria dos eventos de chuva registrados no período de análise.

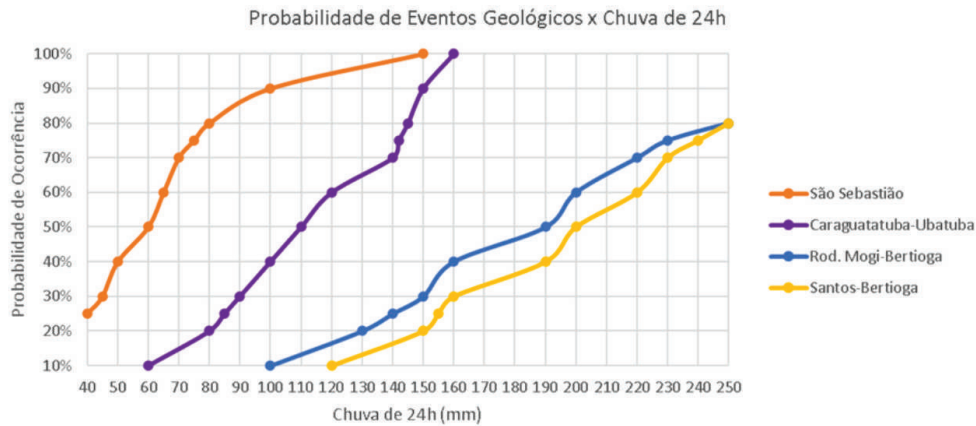


Figura 4. Probabilidade de ocorrência de escorregamentos deflagrados por chuvas de 24h.

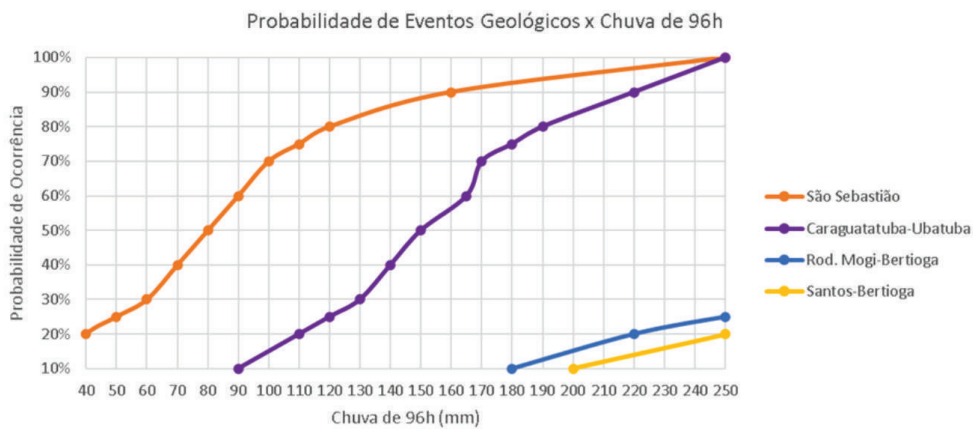


Figura 5. Probabilidade de ocorrência de escorregamentos deflagrados por chuvas de 96h.

5.4 Determinação das envoltórias de CPC

Após a avaliação do banco de dados de chuvas com ou sem registros de eventos geodinâmicos, da análise prévia dos parâmetros físicos, e da definição do método e das quatro regiões de análise, procedeu-se a avaliação dos dados seguindo o modelo proposto por Tatizana et. al. 1987, relacionando a intensidade instantânea de chuva de cada evento com a sua chuva acumulada nas últimas 96h que antecederam o registro. Para esta avaliação foram utilizados os dados do período de 2014 a 2020, uma vez que para este período têm-se os dados relativos à intensidade instantânea de chuva. A Região 03 (São Sebastião) apresentou a maior quantidade de eventos dentro deste período (08 chuvas sem escorregamentos registrados e 70 registros de escorregamento), proporcionando uma melhor análise.

A Figura 6 apresenta a definição da curva envoltória para eventos geológicos na Região 03. Esta curva, descrita graficamente a partir da equação $(I = 200 \times Ac96h^{-0,9})$, que delimita o início da maioria dos eventos geológicos registrados, excluindo-se poucos eventos com acumulados e com intensidade de chuva muito baixos, os quais podem estar relacionados a registros imprecisos. As envoltórias descritas para os eventos ocorridos na Região 03 para o período de 2014 a 2020 foram projetadas em um segundo gráfico, que apresenta as ocorrências registradas desde 1993 (Figura 7). Estas ocorrências não apresentam dados de intensidade horária da chuva e, desta forma, no lugar da intensidade, o eixo y desse gráfico recebe os valores de chuva acumulada nas 24h que antecedem o evento.

Esta projeção das envoltórias definidas apresenta boa correlação entre as duas formas gráficas,

ou seja, é possível projetar com uma boa confiança os dados obtidos na avaliação de intensidade de chuva x 96h para os gráficos que apresentam dados de chuva acumulada de 24h x chuva acumulada em 96h.

A compreensão desta correlação entre dados pluviométricos, com intensidade ou com informação de chuva acumulada de 24h, indica a possibilidade de fazer a correlação no sentido inverso, ou seja, projetar em gráficos com a intensidade

horária da chuva as curvas envoltórias obtidas a partir dos dados de chuva acumulada em 24h. Tal projeção permitiu a definição de envoltórias para as demais regiões, pois estas possuem maior quantidade de dados para eventos de chuva até 2013 (dados sem intensidade horária de chuva), e menor quantidade de dados para os eventos registrados a partir de 2014 (com intensidade horária de chuva). A **Tabela 1** apresenta a equação envoltória obtida para as quatro regiões analisadas.

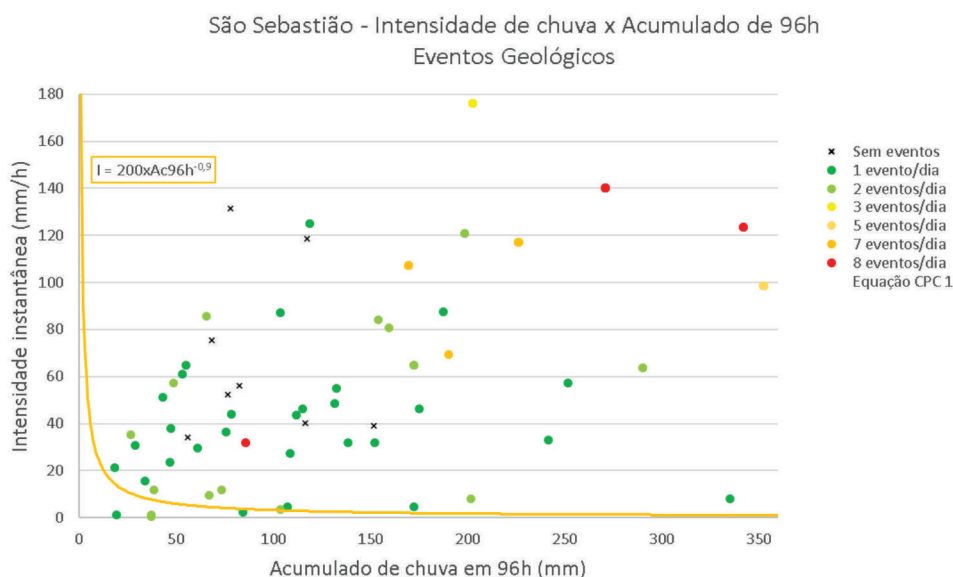


Figura 6. Probabilidade de ocorrência de escorregamentos deflagrados por chuvas de 96h.

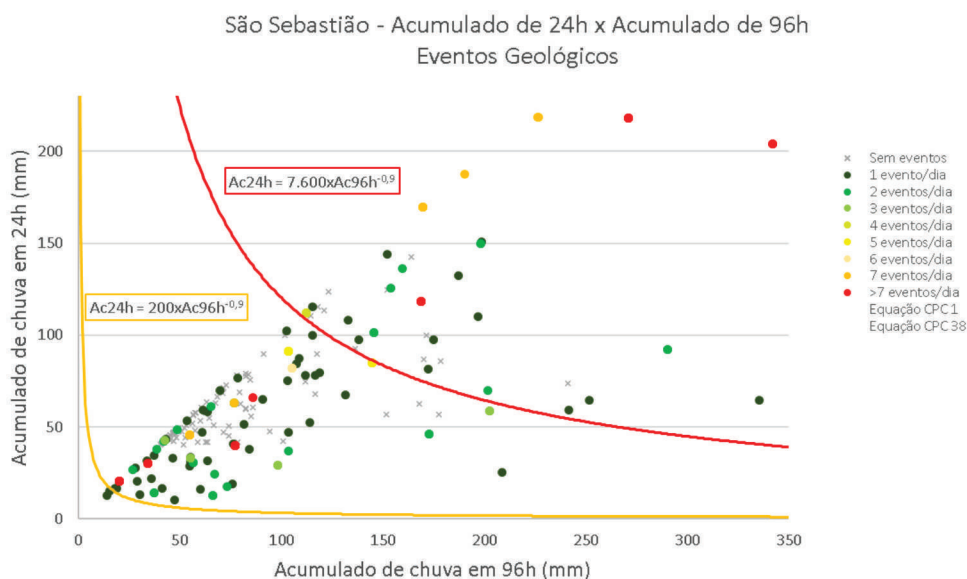


Figura 7. Projeção das curvas obtidas a partir dos dados de intensidade de chuva x acumulado de 96h, para gráfico de chuva acumulada em 24h x chuva acumulada em 96h, da equação envoltória de eventos geológicos definida para a Região 03.

Tabela 1. Equações de envoltória para eventos geológicos para cada uma das quatro regiões analisadas.

Região	Trecho	Equação Envoltória (CPC = 1,0)
Região 01	Rodovia Mogi-Bertioga	$I = 1.000 \times Ac96h^{-0,9}$
Região 02	Caraguatatuba-Ubatuba	$I = 400 \times Ac96h^{-0,9}$
Região 03	São Sebastião	$I = 200 \times Ac96h^{-0,9}$
Região 04	Santos-Bertioga	$I = 1.000 \times Ac96h^{-0,9}$

5.5 Determinação das envoltórias e dos índices de precipitação crítica

Como demonstrado na **Tabela 1**, cada região apresenta uma equação envoltória correspondente, a partir da qual é possível calcular o Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC) de qualquer evento de chuva utilizando o valor de intensidade instantânea de chuva (mm/h) e de chuva acumulada em 96h (mm). Valores de CPC superiores a 1,0 indicam chuvas que apresentam probabilidade

de de deflagrar escorregamentos nas rodovias, a probabilidade de deflagração de eventos aumenta à medida que se avança dentro das quatro faixas estabelecidas para cada região analisada.

Desta maneira, calculou-se o CPC de cada evento de chuva do banco de dados, como observado no exemplo da **Figuras 8**, em que está demonstrada a dispersão destes valores de CPC para chuvas com ocorrência de escorregamentos registrados na Região 03 e respectivas faixas de CPC.

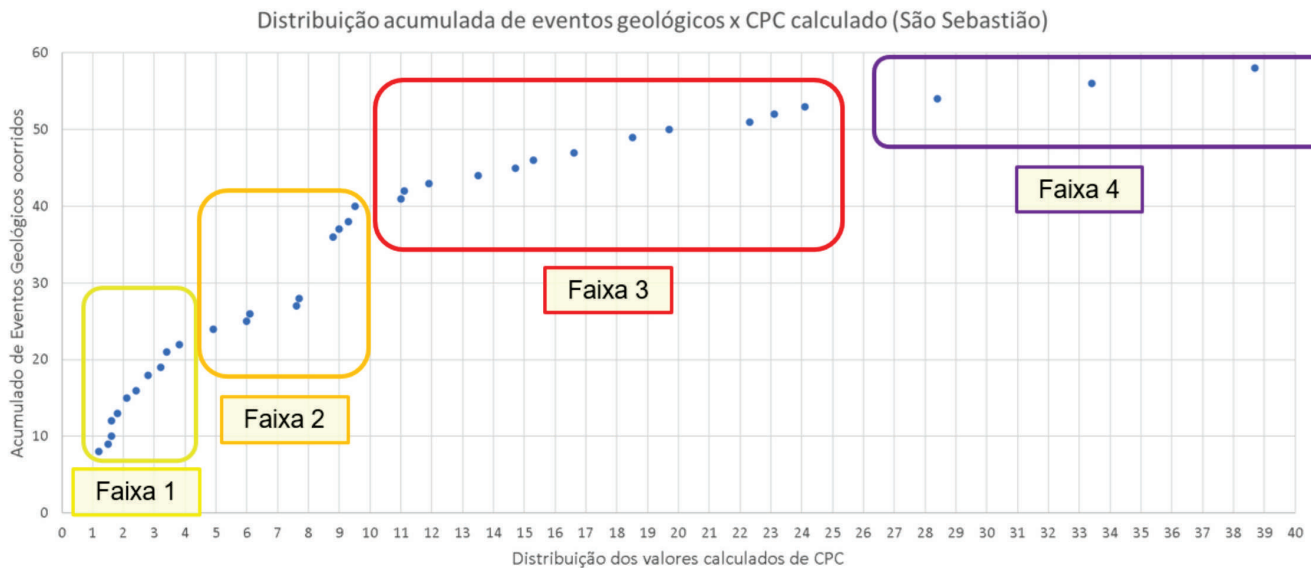


Figura 8. Distribuição dos CPC's calculados para eventos da Região 03, e determinação de faixas de CPC.

6 RESULTADOS

Foram estabelecidas equações quem traçam os Coeficientes de Precipitação Crítica (CPC) para as 4 regiões estabelecidas na área de estudo. As equações representam quatro faixas de CPC para cada uma das regiões determinadas, o aumento do valor de CPC calculado em um determinado

evento de chuva, indica o aumento da probabilidade deste evento de chuva deflagrar um escorregamento. As **Figuras 9 e 10** representam graficamente a distribuição das equações e faixas de CPC resultado deste trabalho, tomando como exemplo a Região 03. A **Tabela 2** resume as equações que traçam o limite de cada faixa de CPC calculado para as 4 regiões.

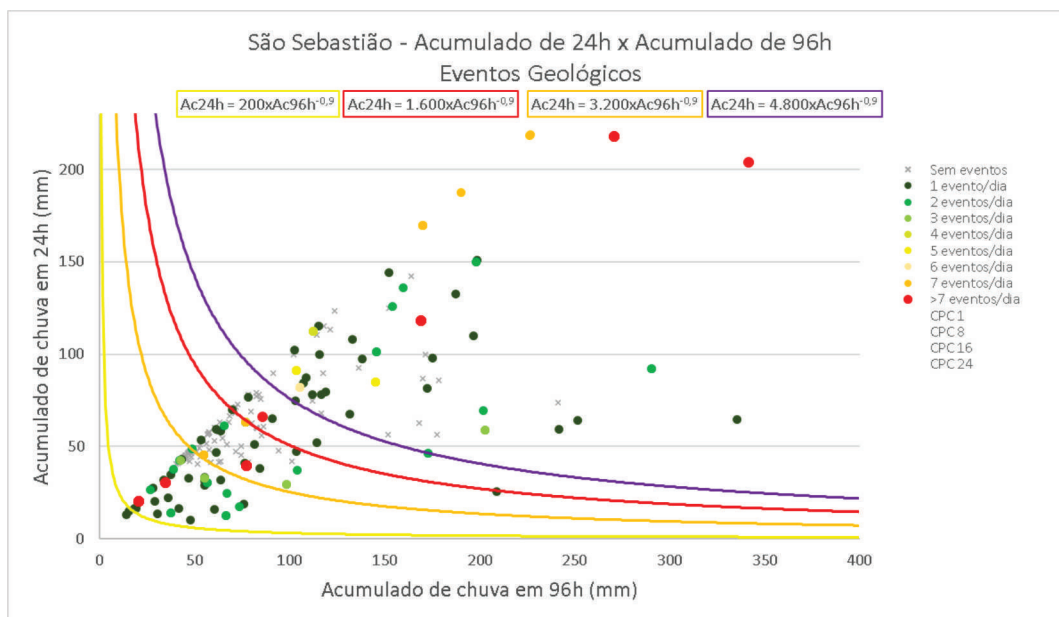


Figura 9. Faixas CPC dados de chuva acumulada de 24h x chuva acumulada de 96h para a Região 03.

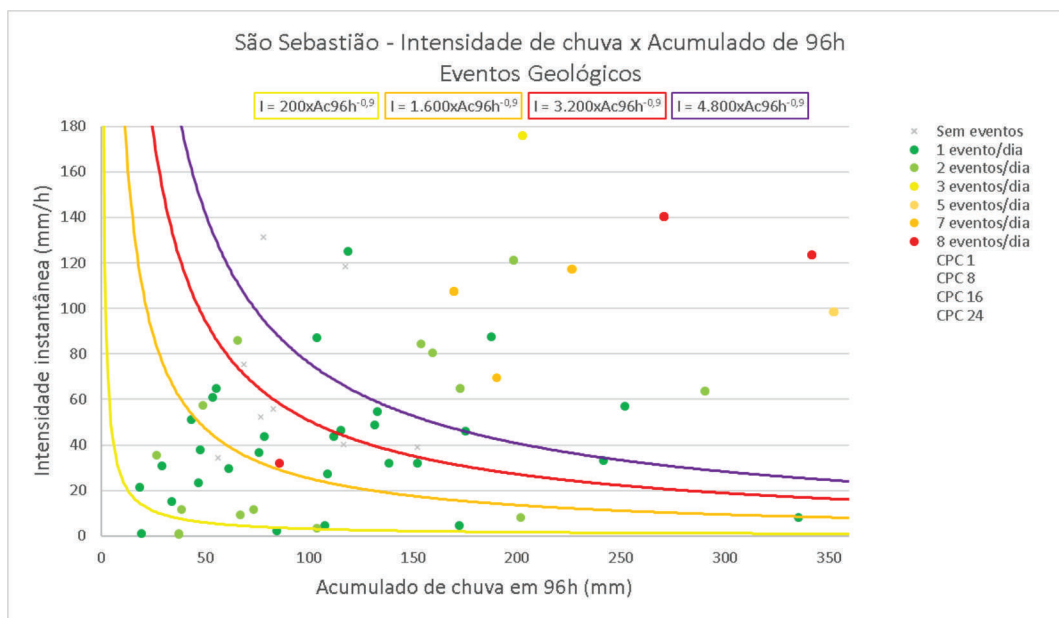


Figura 10. Faixas de CPC para dados intensidade de chuva x chuva acumulada de 96h para a Região 03.

Tabela 2. Equações que definem os limites das quatro faixas de CPC. Onde I = Intensidade de chuva em mm / h, e Ac96h = Acumulado de chuva nas 96h anteriores ao evento.

Região	Equação 1	CPC	Equação 2	CPC	Equação 3	CPC	Equação 4	CPC
1	$I = 1.000 \times Ac96h^{0,9}$	1	$I = 3.000 \times Ac96h^{0,9}$	3	$I = 6.000 \times Ac96h^{0,9}$	6	$I = 15.000 \times Ac96h^{0,9}$	15
2	$I = 400 \times Ac96h^{0,9}$	1	$I = 2.400 \times Ac96h^{0,9}$	6	$I = 6.400 \times Ac96h^{0,9}$	12	$I = 9.600 \times Ac96h^{0,9}$	24
3	$I = 200 \times Ac96h^{0,9}$	1	$I = 1.600 \times Ac96h^{0,9}$	8	$I = 3.200 \times Ac96h^{0,9}$	16	$I = 4.800 \times Ac96h^{0,9}$	24
4	$I = 1.000 \times Ac96h^{0,9}$	1	$I = 4.000 \times Ac96h^{0,9}$	4	$I = 8.000 \times Ac96h^{0,9}$	8	$I = 16.000 \times Ac96h^{0,9}$	16

7 CONCLUSÕES

A elaboração da modelagem para estabelecer a correlação entre chuvas e escorregamentos é um instrumento de gestão de risco de extrema importância, tanto para atuação das concessionárias de rodovias na prevenção de desastres e proteção aos seus usuários, quanto para os órgãos de Defesa Civil das regiões interceptadas pelas rodovias avaliadas. A partir de registros sistematizados dos dados relativos à ocorrência de escorregamentos e da incidência de chuvas, é possível definir regiões de comportamentos similares em relação à deflagração destes processos em decorrência das chuvas, permitindo determinar curvas (equações) de Coeficientes de Precipitação Crítica para cada região delimitada.

Neste projeto, foram analisados dados de um histórico de 27 anos de registros pluviométricos e de eventos geológicos e hidrológicos associados à Rodovia Mogi-Bertioga (SP-098) e à Rodovia Rio-Santos (SP-055), bem como foi realizada a avaliação da probabilidade acumulada de ocorrência de eventos geológicos. Esta análise permitiu a definição de quatro diferentes regiões dos trechos rodoviários que foram objeto do projeto, incluindo a determinação de curvas (equações) de Coeficientes de Precipitação Crítica para cada região, e fornecendo os parâmetros para auxiliar nas tomadas de decisão e emissão de alertas dos sistemas de gestão de risco destas rodovias.

No entanto, cabe ressaltar que, para viabilizar uma modelagem com o maior nível de detalhe possível, é necessário que haja o registro sistematizado das ocorrências de eventos geodinâmicos, que deverão compreender informações como o tipo de processo geodinâmico ocorrido, seu local de ocorrência (com coordenadas geográficas), e horário aproximado da deflagração do processo. Estas informações sistematizadas deverão ser complementadas pelas informações relativas às chuvas incidentes no momento, com registros que permitam a análise da intensidade e da quantidade de chuvas acumuladas em períodos de, pelo menos, dez dias. É necessário, ainda que a rede de medições pluviométricas seja expandida, aumentando a quantidade de aparelhos de medição e registro automático, e permitindo a análise de

chuvas com dados que retratam com melhor precisão as chuvas incidentes em cada região.

Desta forma, os modelos e coeficientes obtidos neste projeto poderão, futuramente, ser reajustados em função de uma maior disponibilidade de dados, tanto nos trechos que atualmente sofrem com a escassez de dados, quanto nos trechos em que há dados suficientes para elaboração de um modelo confiável no momento, mas que deverá ser revisado ao longo dos anos, em decorrência das alterações nos regimes de chuvas que vêm sendo observado no país.

Estes modelos podem, ainda, ser utilizados nos sistemas de gestão de risco dos municípios, adequando a análise dos registros de chuvas e de processos de escorregamentos às áreas ocupadas de seus territórios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) pela cessão dos dados referentes ao projeto de “Elaboração de Planos de Contingência frente a riscos de eventos geodinâmicos em trechos rodoviários selecionados das Unidades Básicas de Atendimento do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) de Caraguatatuba, Mogi das Cruzes e São Vicente”, bem como pela participação na elaboração deste artigo e pela parceria sempre construtiva e frutífera. À REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, à GEOTEC Consultoria Ambiental e à OPT GIS, empresas realizadoras do projeto, pelo apoio na elaboração do artigo. E a todos os colegas e colaboradores envolvidos na idealização e realização do projeto.

REFERÊNCIAS

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. CTH – CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS. Séries Históricas de Estações. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em outubro de 2020.

FERNANDEZ, G. N. Determinação de limiares críticos de chuva deflagradores de movimentos

gravitacionais de massa, município de São Bernardo do Campo, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

GUIDICINI, G., IWASA, O.Y. Ensaio de Correlação entre Pluviometria e Deslizamentos em Meio Tropical Úmido. São Paulo: IPT, 1976.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Cadastro Georreferenciado de Eventos Geodinâmicos: 50 Municípios da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada Santista e Litoral Norte. Projeto Transporte Sustentável de São Paulo (P127723). São Paulo, 2017a. Disponível em: < <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2017/12/instituto-geologico-lanca-sistema-de-classificacao-unidades-territoriais-basicas-mapas-de-perigo-vulnerabilidade-e-risco-do-estado-de-sao-paulo-e-cadastro-de-eventos-geodinamicos-acidentes-e-desast/> >. Acesso em agosto de 2020.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIEN-

TE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Avaliação e Mapeamento de Risco (Escalas Regional e Local) de parte da RMSP - Região Metropolitana de São Paulo (Trechos Norte/Oeste/Sudoeste/Sudeste) e do Litoral Norte: relatórios técnicos e shapefiles. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3he1tz6>>. Acesso em março de 2022.

TATIZANA C., OGURA A.T., CERRI L.E.S., ROCHA M.C.M. 1987a. Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos - Serra do Mar - Município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA, 5, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2: 225-236.

TATIZANA, C., OGURA, A.T., CERRI, L.E.S., ROCHA M.C.M. 1987b. Modelamento Numérico da Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos aplicados à Encosta da Serra do Mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA,5, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2: 237-248.

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.



GEOLOGIA DE ENGENHARIA: ESSÊNCIAS

ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS

Geólogo, Consultor ARS Geologia Ltda
santosalvaro@uol.com.br

Faz-se ciência com fatos, como uma casa com pedras; porém, uma acumulação de fatos não é ciência, como um montão de pedras não é uma casa.

(Henri Poincaré 1854-1912)

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de meu percurso para conceber e divulgar os princípios conceituais e metodológicos que julgo intrinsecamente vinculados ao exercício da Geologia de Engenharia, acredito que produzi alguns pensamentos que, uma vez reunidos em sua indissociabilidade, podem compor um fiel e, Deus queira, útil retrato dos resultados a que cheguei. Aí seguem.

“O sucesso de uma atividade técnica depende intimamente dos princípios conceituais e metodológicos adotados como premissas básicas para sua execução. Uma atividade técnica que não se encontre assim apoiada e orientada tenderá a perder-se em questões menores e alheias às suas reais responsabilidades.”

“Tudo o que vemos na natureza geológica são estágios, paisagens que não foram assim no passado e não serão assim no futuro. Sob a ação da energia telúrica e da energia solar, e tendo a própria Vida como um de seus agentes geológicos modificadores, a natureza é assim mutante, mantendo permanente o sentido maior de suas mutações: a busca de novas posições de equilíbrio. É nessa equação dinâmica que o Homem, com seus variados empreendimentos, interfere. Há, pois, que tê-la em conta. Por sagrado respeito e por um ato de inteligência.”

“Mesmo com a abdicação do consumismo treloucado e do crescimento populacional, a epopéia civilizatória de chegarmos a uma sociedade onde todos os seres humanos tenham uma vida materialmente digna e espiritualmente plena exigirá, sem dúvida, a multiplicação de empreendimentos humanos no planeta: energia, transportes, mineração, indústrias, cidades, agricultura, pecuária, disposição de resíduos... A Geologia de Engenharia, Geociência Aplicada intimamente associada ao conjunto de esforços civilizatórios voltados a assegurar o bem estar da Humanidade, é um dos ramos tecnológicos sobre os quais recai a enorme responsabilidade de tornar essa maravilhosa utopia tecnicamente possível para as sucessivas gerações sem que a própria possibilidade da vida humana no planeta seja comprometida.”

“De uma forma concisa, podemos entender a Geologia de Engenharia como a Geociência Aplicada responsável pelo domínio tecnológico da interface entre a atividade humana e o meio físico geológico.”

“A Geologia de Engenharia só conseguirá cumprir cabalmente sua responsabilidade, e assim, ser útil à Engenharia e à Sociedade em um sentido mais amplo, na medida em que não se descole de suas raízes disciplinares, de sua ciência-mãe, a Geologia, o que significa exercitar e priorizar como seu principal instrumento de trabalho, o raciocínio geológico. Essa decisão a fará ter sempre como ponto de partida a consciência que qualquer ação humana sobre o meio natural interfere, não só, limitadamente, em matéria pura, mas, significativamente, em matéria em movimento, ou seja, em processos geológicos, sejam eles menos ou mais perceptíveis, sejam eles mecânicos, físico-quími-

cos ou de qualquer outra natureza, estejam eles temporariamente contidos ou em pleno desenvolvimento. Será somente o raciocínio geológico que permitirá à GE analisar os problemas que lhe são colocados sob a ótica do movimento, da relação entre processos, do confronto entre esforços ativos e reativos no contexto de uma dinâmica temporal. Será somente esse “olhar geológico” que permitirá ao geólogo de engenharia chegar às leis comportamentais de um determinado local ou região a partir da leitura e tradução das feições, evidências e demais sinais que a Natureza lhe propicia (é preciso conversar com a Terra..).”

“Geologia, Geografia, Geomorfologia, Hidrologia, Climatologia, Pedologia, Biologia..., são ciências indispensáveis para a Geologia de Engenharia bem conhecer e interpretar a Terra e com ela interagir de forma inteligente, respeitosa e, especialmente, sagrada.”

“Não há intervenção humana no meio físico geológico natural do planeta que não provoque algum tipo de desequilíbrio: o corte em uma encosta, o peso de uma barragem, o vazio provocado pela escavação de um túnel, a impermeabilização do solo causada pela cidade, um rebaixamento forçado do lençol d’água subterrâneo, o desmatamento de uma região... Enfim, ao modificar as condições naturais pré-existentes o homem está interferindo em um estado de equilíbrio dinâmico natural. Como resposta à ação do desequilíbrio há uma mobilização de forças naturais orientadas, como reação, a buscar um novo estado de equilíbrio. Caso esse empenho de busca de um novo equilíbrio se dê isoladamente pela própria Natureza as consequências para o homem costumam ser catastróficas: deslizamentos, rompimentos de barramentos, acidentes em fundações, recalques de terrenos, colapso de obras subterrâneas, patologias estruturais, violentos processos erosivos e assoreadores, inundações, etc.

Para que essas consequências reativas de caráter espontâneo e destrutivo estejam sob seu controle, ou seja, que tenha sob seu comando técnico o embate entre os esforços ativos e reativos, é indispensável que o homem entenda perfeitamente as características e processos naturais do meio geológico em que está interferindo, de tal forma a corretamente adequar seus projetos e aplicar as ações executivas compensatórias que se façam necessárias. (*Nature to be commanded must be obeyed.* F. Bacon - 1620).”

“Nas Ciências Naturais, e na Geologia em especial, o primeiro e essencial passo está em descobrirmos e assimilarmos as leis básicas da Natureza. Isso feito, as cortinas se abrem e a compreensão dos fenômenos naturais ou induzidos pelo Homem surge clara à nossa frente.”

“A abordagem da Geologia de Engenharia é essencialmente fenomenológica. Ou seja, a missão maior da Geologia de Engenharia está em produzir um quadro completo dos fenômenos geológico-geotécnicos que podem ser esperados da interação entre as solicitações típicas do empreendimento que foi ou será implantado e as características geológicas (materiais e processos) dos terrenos por ele afetados. A partir da identificação dos fenômenos potenciais ou ocorrentes em uma dada relação solicitação/características geológicas, caberá à Geologia de Engenharia e à Engenharia Geotécnica decidir sobre as soluções de engenharia mais adequadas. Nesse contexto, o geólogo de engenharia deverá ter toda sua atenção voltada ao zelo por uma perfeita aderência entre solução e fenômeno.”

“Sempre no âmbito de um trabalho permanentemente solidário e colaborativo entre a Geologia de Engenharia e a Engenharia Geotécnica, importante considerar que será de total responsabilidade da GE todo e qualquer problema que venha a acontecer e que decorra de fenômeno geológico-geotécnico que não tenha sido previsto ou corretamente descrito em sua análise fenomenológica. Como será de total responsabilidade da EG todo e qualquer problema que ocorra pelo fato do projeto e/ou do plano de obra não ter levado em devida conta algum fenômeno relatado pela GE.”

“O caminho para se chegar a diagnósticos seguros passa por um contínuo processo de adoção de hipóteses fenomenológicas e de aferição destas através do empenho observativo e experimental, ou seja, da investigação orientada de dados que para tanto se mostrem sugestivos ou se façam necessários. Do ponto de vista da formação de um novo conhecimento, pode-se afirmar que a formulação de uma nova hipótese se dá através de um raciocínio indutivo e de uma lógica dedutiva subsidiada por esforço observativo e experimental; atributos que ressaltam a enorme importância da experiência absorvida e vivenciada e do espírito de observação dos geólogos de engenharia.”

“A natureza sempre nos avisa, nunca nos pega desprevenidos. Claro, se para tanto temos bons olhos, ouvidos e demais sentidos educados e atentos ao bom diálogo geológico com a Terra. (É preciso conversar com a Terra...)”.

Finalizando, e mais uma vez ressaltando a enorme importância dos geólogos de engenharia empenharem-se em discutir e ter presentes os

fundamentos conceituais de sua maravilhosa profissão, lembro um pensamento de Leonardo da Vinci: “*A pessoa que gosta de agir sem teoria é qual marinheiro que sobe a bordo de um navio sem leme e bússola e nunca saberá onde aportar*”.

Agradeço a Deus e a todas as circunstâncias que me levaram a escolher a Geologia como formação e profissão.

MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA NA BR-277, ESTADO DO PARANÁ

ISONEL SANDINO MENEGUZZO

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – Paraná- Brasil - meneguzzo@uepg.br

HENRIQUE SIMÃO PONTES

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – Paraná- Brasil - henriquegeografo@gmail.com

Os transeuntes da rodovia BR-277, no km 138, região de São Luiz do Purunã (Figura 1), entre os municípios de Curitiba e Ponta Grossa, no Estado do Paraná, depararam-se com uma consequência adversa, resultado de um movimento gravitacional de massa, ocorrido num talude de corte às margens da via pública.

O talude em questão, com um comprimento de aproximadamente 250 metros com declividade média de 90° e, em pontos específicos, declividade negativa, é entalhado em rochas de idade permo-carboníferas do Grupo Itararé. A amplitude do talude é de aproximadamente 10 metros, no local exato em que o processo ocorreu.

Após três dias com precipitações relativamente intensas e acumulado de aproximadamente 90,8 mm, foi deflagrado um processo de queda de blocos e matacões cobrindo uma área de aproximadamente 40 metros quadrados, e interditando temporariamente as duas faixas de rolamento da rodovia (Figura 2).

Instantes após o episódio, ocorreu a retirada parcial dos fragmentos rochosos, com a liberação

de uma das faixas de rolamento. A fila de veículos atingiu aproximadamente 15 quilômetros de extensão.

Pôde-se verificar *in loco* a presença de rochas intemperizadas provenientes de arenitos e diamictitos de constituição areno-siltosa, com pouca coesão. Pôde-se também verificar que os materiais geológicos intemperizados, resultado do movimento gravitacional de massa, apresentavam estrutura maciça, com fraturas verticais e subverticais. No talude, ainda ficaram preservadas rochas com características idênticas ao material movimentado. Destaca-se a presença de descontinuidades litológicas abruptas e reentrâncias decimétricas situadas na base do talude.

Cabe ressaltar que, devido às condições geológico-geotécnicas do local, eventos como este, podem se repetir, principalmente durante ou após eventos de precipitação intensa.

Recomenda-se a adoção de medidas técnicas vinculadas à contenção do talude, no sentido de minimizar os riscos existentes aos usuários da rodovia.

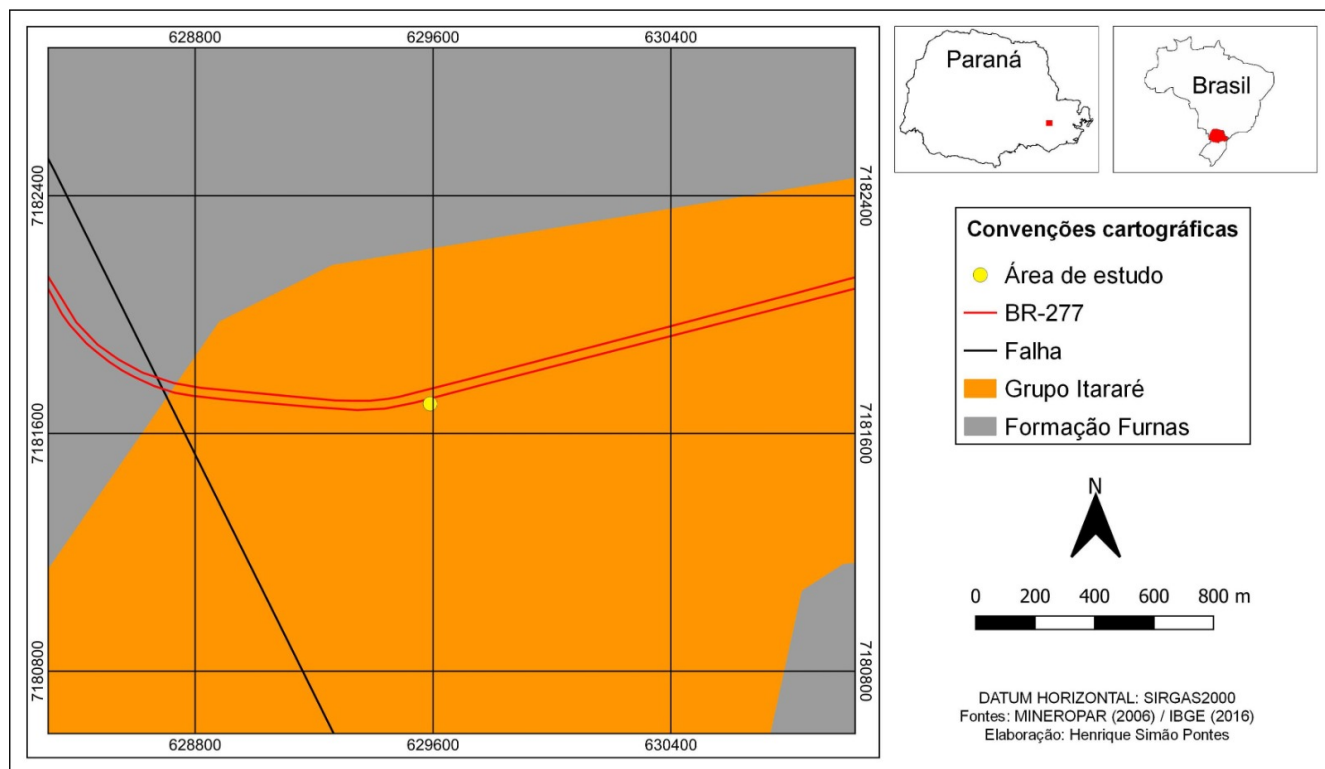


Figura 1. Localização da área no km 138 da BR-277, região de São Luiz do Purunã, Paraná. Notar a geologia da região.



Figura 2. Aspecto da pista da BR 277 com fragmentos de rocha deslocados do talude de corte.

GROTAS, FEIÇÕES DE RELEVO VEDADAS À URBANIZAÇÃO

ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS
Geólogo, Consultor ARS Geologia Ltda
santosalvaro@uol.com.br

1 INTRODUÇÃO. A QUESTÃO CONCEITUAL

Assume-se nesse artigo o entendimento empírico e popular da grota como uma cabeceira de drenagem em forma aproximada de ferradura, morfologicamente côncava, com paredes íngremes em sua parte superior e hidrogeologicamente ativa, ou seja, associada sempre a uma nascente que dá origem a um curso d'água perene ou intermitente.

2 GROTAS COMO ÁREAS DE RISCO

A correlação de grotas com riscos geológicos é já conhecida do meio profissional que lida com áreas de risco, em especial em áreas urbanas. Entretanto, a continuidade da ocupação dessas feições geomorfológicas, com notável incidência de graves acidentes, está a exigir um posicionamento mais resolutivo e firme do meio técnico quanto ao seu destino urbano, o que significaria, no entendimento do autor, que se vá além dos cuidados e alertas sobre a suscetibilidade a deslizamentos das citadas feições, e se avance para a radical proi-

bição de sua ocupação por edificações e infraestruturas urbanas. (Figura 1)



Figura 1. Ocupação de grotas: inevitáveis acidentes e estúpidas perdas de vida. Notar que até conjuntos condomínios habitacionais públicos instalam-se em grotas em busca de menor preço de metro quadrado de terreno. Santo André - SP. Foto do autor.

3 CABECEIRAS DE DRENAGEM E GROTAS – DINÂMICA EVOLUTIVA

As cabeceiras de drenagem, *lato sensu*, são entendidas como o segmento superior de caminhos de drenagem que escoam as águas pluviais em vertentes e encostas para seus níveis hidrológicos de base. Seu desenvolvimento dá-se normalmente por processo erosivo decorrente do escoamento de águas pluviais ao longo do tempo geológico. Trata-se de um processo progressivo de sulcamento e ravinamento que tem sua intensidade erosiva controlada pela pluviosidade/condições climáticas, pela declividade da encosta, pela resistência dos solos à erosão, pela cobertura vegetal, por suas relações com o lençol freático local. A ação humana (concentração de caminhos d'água, desmatamento, etc.) age sempre como elemento potencializador da evolução das cabeceiras de drenagem.

Do ponto de vista geomorfológico as cabeceiras de drenagem cumprem papel fundamental no processo de dissecação erosivo de encostas e vertentes.

As cabeceiras de drenagem podem situar-se em qualquer termo da encosta, estancando seu desenvolvimento de montante em faixa topográfica próxima ao divisor de águas.

4 TIPOLOGIA. CABECEIRAS DE DRENAGEM SECAS E GROTAS.

As feições de relevo associadas a drenagens de encostas podem ser classificadas de variadas maneiras, em dependência dos parâmetros físicos considerados. Para a finalidade desse artigo técnico há interesse apenas em sua classificação quanto à dinâmica de sua evolução. São então assim consideradas as Cabeceiras de Drenagem Secas, onde o processo de evolução corresponde ao simples ravinamento erosivo por águas pluviais, e as Grotas, onde o processo de evolução está também associado à surgência de água subterrânea. As cabeceiras de bossorocas constituem um tipo especial de grota (Figura 2).

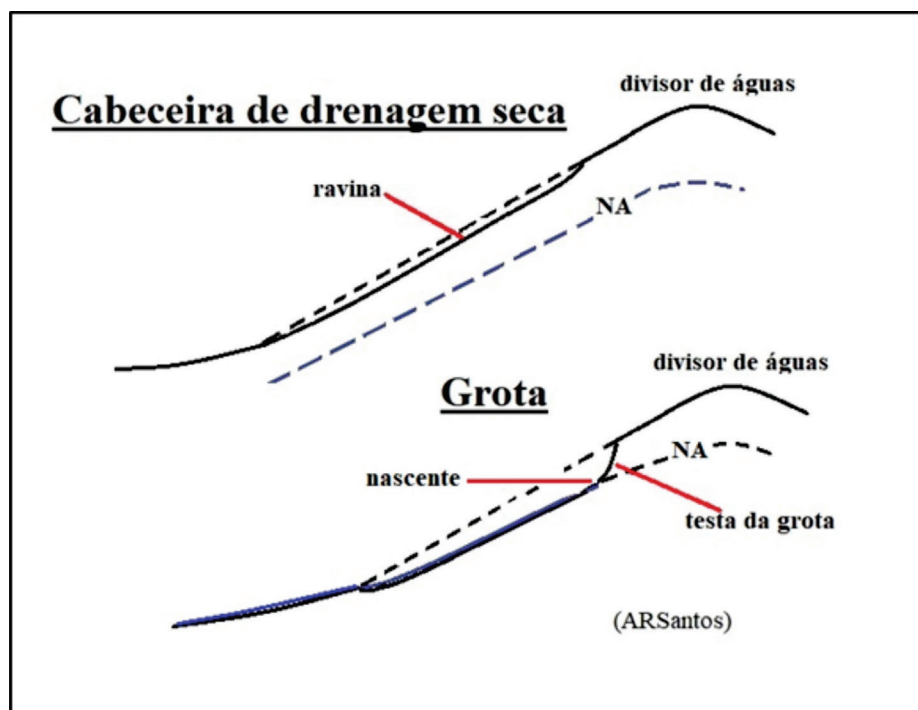


Figura 2. Esquema com as características de cabeceira de drenagem seca e grota.

As grotas são tipos especiais de cabeceiras de drenagem em que o ravinamento atingiu o lençol freático ou um lençol subterrâneo suspenso local. A partir dessa condição a evolução da cabeceira se acelera em processo semelhante ao das bossorocas, ou seja, em uma dinâmica remontante alimentada pela combinação de encharcamento e solapamentos da base da testa da cabeceira, sendo os sedimentos produzidos transportados por enxurradas pluviais para jusante. Não é rara a existência de fenômenos de piping no ponto inicial da nascente (pé da testa da grota), condição que colabora para a potencialização do solapamento da testa. As grotas são fruto, portanto, de uma combinação fenomenológica de águas de superfície e águas profundas. Ao longo desse processo a testa

da grota evolui em altura, concavidade e largura, podendo conter mais de uma frente de evolução.

A grota constitui a feição mais ativa e acelerada de evolução do relevo em sua região, o que se traduz em sua alta suscetibilidade a movimentos de massa.

As grotas formam-se nos variados tipos de relevo. Nos relevos mais suaves e arenosos sua representação mais destacada é a bossoroca. Nos relevos medianamente acidentados, como os mais fortemente colinosos, mar de morros, morros e morrotes isolados, serras restritas... as grotas são conhecidas como tal, constituindo feições naturais típicas e plenamente integradas na cultura popular (Figuras 3 a 5).



Figura 3. Bossoroca em evolução. Notar ravinamentos secundários que tendem a se transformar em novas bossorocas. Fonte: Foto Fazenda Glória, Uberlândia MG.



Figura 4. Grota com densa urbanização. Nova Friburgo RJ. Fonte: Foto HCMiranda.



Figura 5. Quantos ainda precisarão morrer? Fonte: Foto FAEP.

5 GROTAS DORMENTES. REATIVAÇÃO ANTRÓPICA DA DINÂMICA EVOLUTIVA. TRABALHOS DE RECUPERAÇÃO

Dois fatores especialmente contribuem para determinar a intensidade maior ou menor da dinâmica evolutiva das grotas, o domínio florestal da grota e o volume de águas pluviais que se direcionam da região a montante para o interior da grota.

O domínio florestal é o principal fator de inibição da dinâmica evolutiva das grotas. Esse domínio florestal acontece em períodos geológicos de condições climáticas favoráveis. Em períodos geológicos mais áridos com recuo florestal e chuvas torrenciais temporalmente concentradas a dinâmica evolutiva das grotas mostra-se acentuadamente acelerada. Na maior parte da extensão do território brasileiro predominam hoje condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de concentrações florestais nas grotas, considerando que essas feições se destacam em sua região por manter um nível maior de umidade dos solos.

É assim comum em regiões que guardam suas características naturais que as grotas encontrem-se relativamente estabilizadas, tanto pela prevalência do domínio florestal como pela dispersão das águas pluviais superficiais de montante. Pode-se considerar que nesta condição as grotas tem sua dinâmica evolutiva praticamente contida, mas em condição latente. Ou seja, na dependência de alteração dos dois fatores estabilizadores certamente essa dinâmica será reativada.

É justamente o que normalmente sucede em regiões onde a atividade humana, seja em práticas rurais de agricultura e pecuária, seja em práticas tipicamente urbanas, implica notoriamente em desmatamentos e concentração de fluxos de escoamento de águas de chuva (Figuras 6 e 7).

Por decorrência, as medidas essenciais para a estabilização dos processos evolutivos de uma grota são a imediata interrupção do acesso de escoamentos de águas de chuva em sua crista, sua limpeza e seu reflorestamento.



Figura 6. Reativação da dinâmica evolutiva de grotas por ocupações de cabeceira. Santo André SP. Fonte: foto do autor.



Figura 7. Bossoroca, que teve sua “cabeça” aterrada para receber ocupação urbana, reativada pela concentração de fluxos de água profundos e superficiais. Monte Alto SP. Fonte: Foto Jornal Tempo.

6 AS GROTAS COMO ÁREAS DE RISCO À URBANIZAÇÃO

Como já referido, as grotas constituem feições de relevo extremamente susceptíveis a deslizamentos. Essa condição é sumamente agravada pelo fato das grotas se apresentarem aos moradores próximos como destino fácil para todos os tipos de resíduos urbanos: lixo doméstico, entulhos de construção civil, animais mortos, carcaças de equipamentos, etc. Ou seja, quando a própria grota recebe edificações essas se instalam em condições geológicas e geotécnicas extremamente críticas quanto a sua estabilidade. Cumpre ainda considerar a temerária cultura técnica, totalmente inadequada para terrenos declivosos, de se cortar a encosta para a obtenção de um platô plano a receber a edificação (Figura 8).

Com essas características as grotas, desgrazadamente, tem se oferecido à população de baixa renda como área atraente pelo baixo custo do metro quadrado e de aluguéis. Acidentes gravíssimos, com estúpidas perdas de vida, não se fazem por esperar.

Não há recomendação técnica plausível e financeiramente aceitável para operações de estabilização geotécnica que possam tornar as grotas terrenos seguros para a urbanização. A radical proibição de urbanização habitacional das grotas se impõe como a solução mais acertada para o problema. Tal decisão deve sem sombra de nenhuma dúvida ser definitiva e claramente expressa pelas Cartas Geotécnicas como áreas não ocupáveis. E na inexistência dessas cartas, pelo Plano Diretor e pelas leis municipais de uso e zoneamento do solo urbano.



Figura 8. Conjunto Residencial da CDHU construído em cabeceira de grotá contribuiu com a reativação de sua dinâmica evolutiva, Franco da Rocha, SP. Fonte: Foto do autor.

7 AS GROTAS NO CONTEXTO AMBIENTAL

As grotas, por suas nascentes, constituem preciosos mananciais de água para consumo humano, além de suas singulares funções ecológicas como *locus* privilegiado de espécies botânicas de grande valor e de abrigo, alimentação e dessedentação de enorme diversidade animal. Só por esses fatos, e pela simples aplicação das disposições do Código Florestal para a delimitação de Áreas de Proteção Ambiental – APPs em torno de nas-

centes e olhos d'água (círculo com raio de 50m) já deveriam ser consideradas não urbanizáveis. Essa proteção, infelizmente, não tem sido adotada e esses mananciais têm sido sistematicamente engolfados pelo implacável crescimento urbano por espraiamento geográfico, típico das cidades brasileiras, e utilizados como local de disposição irregular de resíduos urbanos e/ou de implantação de precárias e arriscadas moradias populares (Figura 9).

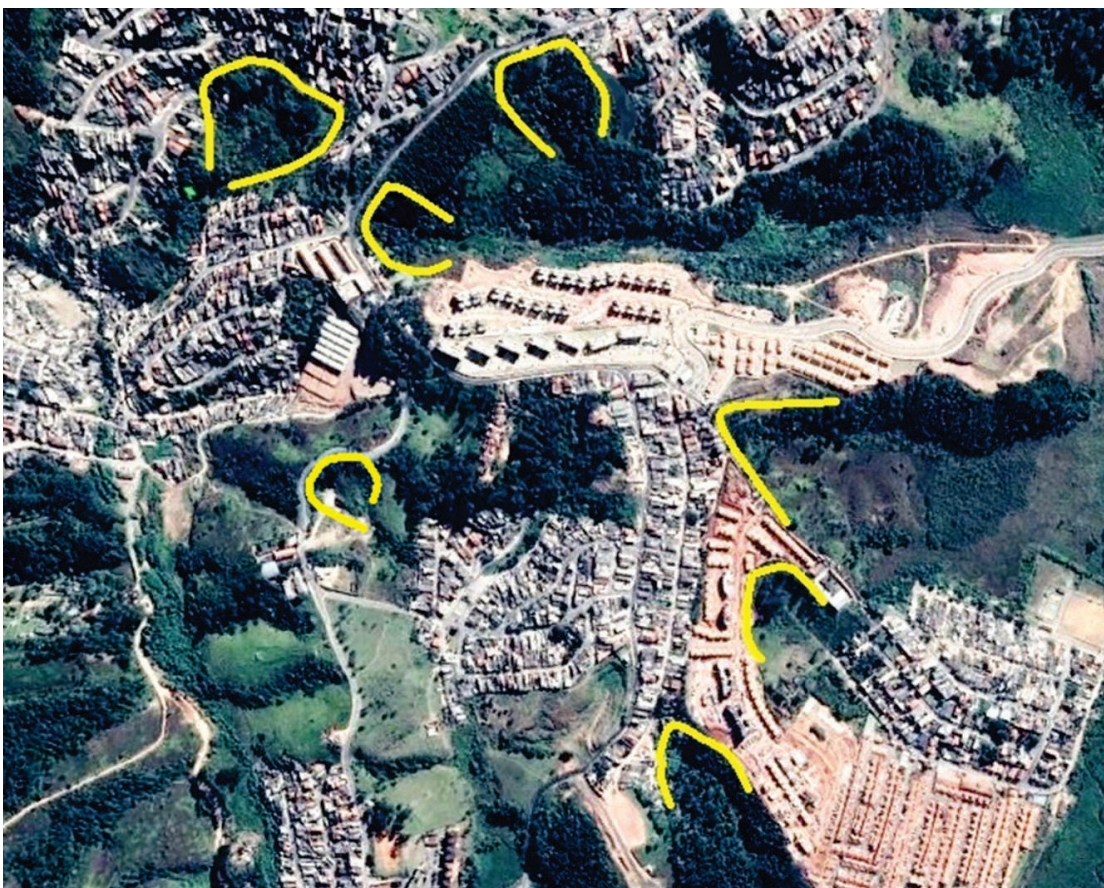


Figura 9. Constante avanço na ocupação de grotas. Cotia SP, imagens Google Earth de 2012 (acima) e 2022(abaixo).

8 O MELHOR E MAIS VIRTUOSO DESTINO PARA AS GROTTAS

Seja no âmbito de políticas públicas de gestão do risco geológico, seja no âmbito de políticas de proteção ambiental e gestão de recursos hídricos, o melhor destino urbano para as grotas está em sua transformação em parques florestados entregues ao lazer e atividades de educação da população.

Considerando as condições de risco, a delimitação do perímetro não ocupável deverá necessariamente incluir a montante da crista frontal e das cristas laterais uma faixa de terreno de largura em torno de 40 metros, uma vez que a ocupação dessa faixa implica em decorrências negativas para a estabilidade geotécnica da testa da grota e para a boa qualidade das águas nascentes.

Para o caso de grotas já geologicamente e ambientalmente degradadas, e que venham a ser desocupadas como decorrência da aplicação de políticas públicas de gestão de riscos geológicos, faz-se imprescindível, para sua transformação em parques florestados, uma operação anterior de recuperação sanitária e geotécnica.

No âmbito desse trabalho de recuperação, destaca-se o objetivo de limpeza do material superficial solto (terra, entulho, lixo...), aplicação de medidas de inibição de deslizamentos e eventuais estabilizações geotécnicas localizadas, o que envolveria os seguintes itens:

1. imediata interrupção do direcionamento e acesso de escoamentos de águas pluviais para o interior da cabeceira da grota. Essa medida é de caráter essencial por ser drasticamente inibidora da ativação da dinâmica evolutiva das grotas;
2. remoção cuidadosa dos materiais soltos acumulados na grota (terra, entulho de construção civil, lixo doméstico, resíduos de toda natureza);
3. as intervenções deverão ser executadas manualmente e/ou por equipamento leve. Não se deve abrir acesso para equipamento de maior porte. A ideia é não interferir no solo natural local, somente no material sobre ele lançado ao longo do tempo;
4. no caso de eventual presença de vegeta-

ção de maior porte, sempre que possível evitar a remoção;

5. especificamente junto ao local das nascentes de água, a remoção de materiais soltos é especialmente importante, de forma que esse "olho d'água" fique totalmente livre, desobstruído e descontaminado;
6. os trabalhos devem se desenvolver de montante para jusante. Para facilitar o trabalho de limpeza e remoção sugere-se a utilização de calhas de madeira para a condução do material das cotas superiores para a base do talude;
7. assim que os taludes naturais superiores vão sendo liberados (limpos de material solto) deve-se proceder sua proteção vegetal. Como, ao final, espera-se que essa área seja ocupada por um bosque florestado, sugere-se a utilização inicial de hidrossemeadura (no caso com predominância de espécies leguminosas locais) seguida de plantio direto de mudas de árvores e arbustos naturais da floresta original da região. Dentro desse procedimento de montante para jusante, quando a limpeza estiver sendo executada junto ao ponto mais baixo do talude, toda e extensão superior já estará razoavelmente protegida contra a erosão. Caso se veja como necessário, deve-se considerar a instalação de sistema de drenagem para águas pluviais.

BIBLIOGRAFIA

Coelho Netto, A. L. - Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 4, Nº 2 (2003) 69-100.

Fruet, J. G. W. - Análise da estrutura e funcionamento de cabeceiras de drenagem : subsídios para a conservação de nascentes. Tese Doutorado Universidade Estadual de Maringá PR, 2021.

Marques de Castro, C et al - Tipologia de Processos Erosivos Canalizados e Escorregamentos

- Proposta Para Avaliação de Riscos Geomorfológicos Urbanos em Barra Mansa (RJ). Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ Volume 25 / 2002.

Moura, J. R.S. et al - Geometria do relevo e estratigrafia do quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro - Médio vale do rio Paraíba do Sul. Revista Brasileira de Geociências 21 (3): 255-265, setembro de 1991.

Ridenti Júnior, J. L. et al - Cabeceiras de drenagem, uma unidade de análise na elaboração de cartas geotécnicas. In: 2 Simposio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 1996, 1996. v. 1. p. 185-194.

Santos, A. R. - Manual básico para a elaboração e uso da Carta Geotécnica. Livro. Editora Rudder. São Paulo, 2014