



Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)

Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica



Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)

Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof^a Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E56	Enfoques e possibilidades para a engenharia geotécnica [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-85-7247-746-8 DOI 10.22533/at.ed.468190611 1. Geologia de engenharia. 2. Mecânica do solo. I. Tullio, Franciele Braga Machado. CDD 624.15136
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica” contempla onze capítulos em que os autores abordam as mais recentes pesquisas relacionadas as possibilidades de materiais e metodologias aplicadas na área de geotecnia.

A Engenharia Geotécnica desempenha um papel muito importante em nossa sociedade, pois é através do estudo da ação do homem sobre o solo e rochas que torna possível a prevenção de deslizamentos, desabamentos e desmoronamentos, contenção da ocupação de encostas e gerenciamento de resíduos.

Os estudos da área de geotecnia visam a proteção da população, fazendo uso de soluções sustentáveis sem prejudicar o meio ambiente.

A adição de resíduos no solo pode viabilizar a sua utilização em subleito ou sub-base na pavimentação. Assim como a utilização de resíduos industriais em substituição ao uso de brita pode se tornar como alternativa para a confecção de misturas asfálticas onde há escassez desse material.

A engenharia geotécnica apresenta várias possibilidades de proteção de encostas, tais como: drenagem, proteção superficial, construção de muros de arrimo, retaludamento, entre outras técnicas, proporcionando segurança para diversas comunidades.

Diante do exposto, esperamos que o leitor faça bom uso dos estudos aqui apresentados, de modo que sejam subsídio para uma reflexão sobre as possibilidades que a engenharia geotécnica proporciona à sociedade, trazendo qualidade de vida e segurança, utilizando meios sustentáveis e reduzindo danos ao meio ambiente.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ATERROS LEVES SOBRE SOLOS MOLES COM UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) NA BR-101/PE, LOTE 6: AVALIAÇÃO DA TÉCNICA E CARACTERIZAÇÃO DO EPS QUANTO À COMPRESSÃO SIMPLES	
Fabiano Queiroz de Souza Roberto Quental Coutinho Danisete Pereira de Souza Neto	
DOI 10.22533/at.ed.4681906111	
CAPÍTULO 2	14
DOSAGENS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS	
André Sales Mendes Jander Joia de Figueiredo Costa Júnior Patrícia de Magalhães Aragão Valença Consuelo Alves da Frota	
DOI 10.22533/at.ed.4681906112	
CAPÍTULO 3	26
ESTUDO DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DO EMPREGO DA CAL EM UM SOLO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO	
Vitor Reinaldo Bordignon Rogério Francisco Kuster Puppi Ronaldo Luiz dos Santos Izzo Amanda Dalla Rosa Johann	
DOI 10.22533/at.ed.4681906113	
CAPÍTULO 4	38
MELHORAMENTO DE SOLO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO PROCEDENTE DO CEPILHAMENTO RE PAVIMENTOS CCP	
Daniel da Silva Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.4681906114	
CAPÍTULO 5	50
USO DE DRENOS FIBROQUÍMICOS E COLUNAS DE BRITA PARA TRATAMENTO DE SOLOS MOLES NA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ - RJ	
Fernanda Valinho Ignacio Bruno Vieira de Jesus Juliano de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.4681906115	
CAPÍTULO 6	62
ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DE TUBOS GEOTÊXTIL PARA ACOMODAÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL EM SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO POR BACKFILL	
Rafaela Baldí Fernandes Sander Elias Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.4681906116	
CAPÍTULO 7	78
OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DE ENCOSTAS E SUA ESTABILIZAÇÃO	
Paulo Afonso de Cerqueira Luz Alberto Alonso Lázaro	

Henrique Dinis
Kamila Rodrigues Cassares Seko
DOI 10.22533/at.ed.4681906117

CAPÍTULO 8	91
ZONEAMENTO SIMPLIFICADO DE RISCO DE DESLIZAMENTO EM ENCOSTAS NO NORDESTE DO BRASIL	
Belaniza Gaspar Santos Neta Osvaldo de Freitas Neto Erinaldo Hilario Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.4681906118	
CAPÍTULO 9	105
ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM VENTUROSA NO ESTADO DE PERNAMBUCO	
Hosana Emilia Sarmiento Costa Leite Rafaella Teixeira Miranda Maiara de Araújo Porto Túlio Martins de Lima Natália Milhomem Balieiro	
DOI 10.22533/at.ed.4681906119	
CAPÍTULO 10	118
COMPARAÇÃO E PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL (UCS) DE ROCHAS ARENÍTICAS TURBIDITICAS DAS FORMAÇÕES SANTOS, BACIA DE SANTOS, BRASIL E DA FORMAÇÃO CHICONTEPEC, BACIA DE CHICONTEPEC, MÉXICO	
Claudia Martins Bhering Dominoni Anna Laura Lopes da Silva Nunes Claudio Rabe Gilmara Alexandre Felipe da Silva Cleverson Guizan Silva	
DOI 10.22533/at.ed.46819061110	
CAPÍTULO 11	130
MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS 3D DE RADIER ESTAQUEADO COMPOSTO POR ESTACAS EMBUTIDAS PARCIALMENTE EM ROCHA	
Jean Rodrigo Garcia Paulo José Rocha de Albuquerque Osvaldo de Freitas Neto Rodrigo Álvares de Araújo Melo	
DOI 10.22533/at.ed.46819061111	
CAPÍTULO 12	144
MELHORAMENTO DOS PARÂMETROS MECÂNICOS E FÍSICOS DE DEPÓSITOS ALUVIONARES ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DE GEODRENOS VERTICAIS	
Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva Bruno Pereira Casanova	
DOI 10.22533/at.ed.46819061112	
SOBRE A ORGANIZADORA	156
ÍNDICE REMISSIVO	157

ZONEAMENTO SIMPLIFICADO DE RISCO DE DESLIZAMENTO EM ENCOSTAS NO NORDESTE DO BRASIL

Belaniza Gaspar Santos Neta

Universidade Federal de Sergipe/UFS
São Cristóvão, Sergipe

Oswaldo de Freitas Neto

Universidade Federal do Rio Grande do Norte/
UFRN
Natal, Rio Grande do Norte

Erinaldo Hilario Cavalcante

Universidade Federal de Sergipe/UFS
São Cristóvão, Sergipe

RESUMO: A importância da gestão de risco deve-se principalmente às consequências, muitas vezes catastróficas, dos eventos naturais, que vão desde perdas socioeconômicas até perdas de vidas. O objetivo deste trabalho é auxiliar as entidades responsáveis pela gestão de risco do município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, no que se refere ao risco de deslizamentos em encostas urbanas através do zoneamento de risco. A análise de risco dos setores de encosta estudados foi realizada com o auxílio da metodologia qualitativa de Gusmão Filho *et al.* (1992), considerando-se a proposta de Alheiros (1998) para o cálculo do grau de risco final em cada setor. Foram analisados 16 setores, dentre eles, apenas cerca de 6% dos setores apresentaram grau de risco baixo, enquanto aproximadamente 44% apresentaram grau de risco médio, grau de risco alto e muito

alto corresponderam a aproximadamente 31 e 19%, respectivamente. A verificação de que metade dos setores de encosta avaliados apresentaram grau de risco alto e muito alto enaltece a necessidade de monitoramento e a implantação de ações preventivas nessas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Zoneamento de Risco, Deslizamento, Encostas Urbanas.

SIMPLIFIED LANDSLIDE RISK ZONING IN NORTHEASTERN BRAZIL

ABSTRACT: The importance of risk management is due primarily to the often catastrophic consequences of natural events, from socioeconomic losses to loss of life. The aim of this study is to help risk management entities in the city of Aracaju, capital of Sergipe state, Brazil, cope with the risk of urban landslides via risk zoning. Risk analysis of the slope sectors was conducted using the qualitative methodology of Gusmão Filho *et al.* (1992), considering Alheiros' proposal (1998) for calculating the final risk level in each sector. A total of 16 sectors were analyzed, only 6% of which exhibited low risk, 44% medium risk, while 31 and 19% were at high and very high risk, respectively. The fact that half of the slope sectors were at high and very high risk underscores the need for monitoring and

preventive measures in these areas.

KEYWORDS: Risk Zoning, Landslide, Urban Slopes.

1 | INTRODUÇÃO

A ocupação irregular de áreas naturalmente sujeitas a deslizamentos é um dos efeitos do crescimento populacional desordenado. Quando deslizamentos ocorrem em grandes centros urbanos, possuem a tendência de assumir proporções catastróficas. Surge então, a importância do mapeamento de risco para gerir tais áreas e evitar danos a população.

A cidade de Aracaju, embora seja predominantemente plana, apresenta diversos locais de relevo acidentado que são caracterizados pela ocupação desordenada, com edificações precárias, nas quais cortes, aterros, desmatamentos e a ausência de saneamento básico são alguns dos fatores que contribuem para a instabilidade das encostas presentes nessas áreas.

A notação adotada pelo relatório da ONU (2004), define risco como a probabilidade de consequências perigosas ou perdas esperadas (mortes, feridos, propriedade, atividades econômicas interrompidas ou danos ambientais) como resultado das interações entre os perigos naturais ou induzidos pelo homem e as condições vulneráveis. Portanto, $Risk$ (Risco) = $Hazards$ (Perigos) x $Vulnerability$ (Vulnerabilidade). O mapeamento de risco ocorre através da análise de risco geológico, que, segundo Cerri *et al.* (2007), em geral, é realizada através de investigações geológico-geotécnicas de superfície executadas na área de interesse.

Cerri *et al.* (2007), afirma que o mapeamento de risco pode ser realizado em dois níveis de detalhe: o zoneamento de risco e o cadastramento de risco. O zoneamento de risco é caracterizado pela delimitação de setores nos quais existem diversas moradias, cada setor recebe um mesmo grau de risco ainda que existam moradias pertencentes ao setor que não possuam o mesmo grau de risco atribuído ao mesmo ou até moradias que não apresentem risco. O cadastramento de risco de escorregamento em encostas é mais detalhado e os riscos são atribuídos por moradia.

Com o intuito de auxiliar as entidades públicas responsáveis pela gestão de risco da cidade de Aracaju, bem como identificar a possível evolução de movimentos ocorridos anteriormente, este trabalho apresenta o zoneamento de risco de deslizamento realizado através da metodologia qualitativa de Gusmão Filho *et al.* (1992), considerando-se a proposta de Alheiros (1998) para o cálculo do grau de risco final dos setores. O zoneamento de risco permite a hierarquização dos problemas e o suporte técnico para a relação com as comunidades afetadas.

2 | DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudo compreende o município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, localizado na região nordeste do Brasil. De acordo com a Lei nº 554 de 6 de fevereiro de 1954 a cidade limita-se ao norte pelos municípios de Nossa Senhora do Socorro e Santo Amaro das Brotas, ao sul pelo município de Itaporanga d'Ajuda, a leste pelo município de Barra dos Coqueiros e o oceano Atlântico e, a oeste pelo município de São Cristóvão. A cidade possui uma área territorial de 181,856 km². De acordo com o censo do IBGE do ano de 2010, a população aracajuana corresponde a 571.149 habitantes e a densidade demográfica é de 3.140,67 hab/km².

2.2 Caracterização da Área de Estudo

O município de Aracaju apresenta um clima sub-úmido com precipitação média anual de 1.590 mm, a temperatura média anual é de 26°C e o período chuvoso ocorre entre os meses de março e agosto. A vegetação compreende Mata secundária (Mata Atlântica), Manguezal e Restinga. Sua hidrografia é constituída pelo Rio Sergipe, Rio Vaza-Barris, Rio Poxim, Rio Pitanga e Canal Santa Maria (Sergipe, 2015).

O município de Aracaju está localizado numa região coberta por Formações Superficiais, representadas por duas unidades de relevo, a Planície Costeira e os Tabuleiros Costeiros caracterizados pelo desenvolvimento de morros elaborados sobre litologias do Grupo Barreiras (Araújo, 2006). Fontes (2003) reitera essa análise, afirmando que a implantação da cidade de Aracaju foi concretizada graças à ação antrópica, o que interviu na sua geomorfologia. Havendo desmontes de dunas e aterros de mangues com sedimentos do grupo Barreiras, dando origem a um verdadeiro solo criado.

3 | METODOLOGIA

A análise de risco no município de Aracaju utilizou-se da metodologia de Gusmão Filho *et al.* (1992) considerando-se a proposta de Alheiros (1998) para o cálculo do grau de risco final de cada setor de encosta. Ao levar-se em conta a densidade populacional, um dos representantes da vulnerabilidade, a metodologia de Gusmão Filho *et al.* (1992) caracteriza-se como uma análise de risco.

Inicialmente foi estabelecido o contato com a Defesa Civil Municipal de Aracaju, órgão responsável pelo monitoramento do risco local. Dentre as informações concedidas pela referida entidade consta um levantamento das áreas de risco referentes a enchentes e a movimentos gravitacionais de massa realizado pelo Serviço Geológico do Brasil no ano de 2013, no qual delimitou-se 15 áreas expostas a risco de deslizamento. Com base nesse levantamento, foram escolhidos 16

setores de encosta com características mais representativas, para a análise de risco de escorregamento apresentada neste trabalho. A setorização das áreas foi feita considerando-se a homogeneidade de características visuais, ou seja, ainda que existam setores muito próximos, se eles apresentam características como, cobertura vegetal, textura do solo e tratamento, muito diferentes, esses são considerados setores distintos.

Com base nas visitas que foram realizadas às áreas para verificar as características de cada encosta e no trabalho de Alheiros (1998), foi elaborada uma ficha de avaliação de campo que leva em consideração as características da cidade de Aracaju. Essa ficha contempla os parâmetros físicos e ambientais, representados pelos fatores de risco (topográfico, geológico e ambiental) e seus respectivos atributos que afetam a estabilidade das encostas (Tabela 1). O atributo saneamento, foi acrescentado de acordo com a adaptação de Moura *et al.* (2006) e corresponde a existência ou não de tratamento de esgoto.

Topográfico	Geológico	Ambiental
Altura	Litologia	Vegetação
Extensão	Estrutura	Drenagem
Declividade	Textura	Cortes
Morfologia (Perfil)	Movimento e	Densidade populacional
Morfologia (Planta)	transporte de massa	Saneamento
		Tratamento

Tabela 1- Fatores de Risco e Grupos de Atributos

As morfologias foram verificadas nas visitas às encostas.

A altura e a declividade das encostas foram conhecidas utilizando-se o método relativo de levantamento geodésico, em que um aparelho GPS com precisão topográfica, da marca Ashtech, modelo Promark 100, foi utilizado na ocupação dos pontos desejados.

O conjunto de atributos referente ao fator geológico é constituído pelas características dos solos das encostas, são elas: litologia, estrutura, textura e movimento e transporte de massa. A litologia foi definida com o auxílio do Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (2014) e do trabalho de Araújo (2006). A estrutura característica dos solos das encostas é correspondente aos sedimentos do Grupo Barreiras, que segundo Gusmão Filho *et al.* (1982), são estratificados quase horizontalmente, essa condição foi claramente observada nas encostas estudadas. A textura foi definida através da análise tátil-visual realizada nas visitas de campo, a identificação de processos de movimento e transporte de massa também foi realizada nas visitas às áreas de encostas.

Os atributos do fator ambiental foram: vegetação, drenagem, cortes, densidade populacional, saneamento e tratamento. Apenas a densidade populacional não foi definida em campo. Neste trabalho foram considerados dados obtidos através

do SIUG (Sistema de Informações Urbanísticas Georreferenciadas) na página da internet da SEPLOG (Secretaria Municipal do Planejamento, Orçamento e Gestão) de Aracaju, onde estão disponíveis as informações mais atualizadas referentes a demografia dos bairros da cidade.

Diante das observações em campo e da tabulação dos dados, foram estabelecidas quatro faixas de grau de risco (Tabela 2): R1 (Risco Baixo); R2 (Risco Médio); R3 (Risco Alto); e R4 (Risco Muito Alto), para cada atributo considerado.

Grau de Risco	Termo Correspondente
1	Baixo
2	Médio
3	Alto
4	Muito Alto

Tabela 2 – Termos Correspondentes a Cada Grau de Risco

Para avaliar o grau de risco dos atributos associando-os aos quatro números, observou-se seus valores extremos obtidos nas encostas, e dividiu-se o intervalo em quatro faixas para encontrar o incremento. Assim, foi possível conhecer o intervalo correspondente a cada grau de risco e, conseqüentemente, a cada termo linguístico, isso foi feito para todos os atributos numéricos, como: altura da encosta, extensão da encosta, declividade da encosta e densidade populacional.

O cálculo do grau de risco topográfico, geológico e ambiental foi feito pela média aritmética dos valores de grau de risco atribuídos aos seus respectivos atributos. Nas equações de 1 a 3 são apresentados os cálculos dos graus de risco topográfico, geológico e ambiental.

$$GRT = \frac{\sum \text{Atributos}}{5} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$GRG = \frac{\sum \text{Atributos}}{4} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$GRA = \frac{\sum \text{Atributos}}{5} \quad (\text{Eq. 3})$$

Neste trabalho foi considerada a proposta de Alheiros (1998) para o fator redutor do risco ambiental devido ao tratamento, considerando-se quatro faixas de risco, expresso através da equação 4.

$$GRA_t = GRA_i - \left[\left(\frac{GRA_i - 1}{3} \right) (4 - T) \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

Na equação 4, GRA_t representa o grau de risco de um atributo ambiental incluindo o tratamento, GRA_i é o grau de risco de um atributo ambiental sem tratamento e T é a nota do tratamento.

O cálculo de grau de risco final foi realizado através da proposta de Alheiros (1998), atribuindo-se peso 2 para o fator topográfico, peso 1 para o fator geológico e peso 3 para o fator ambiental, visto que esses dependem principalmente da ação antrópica (Eq. 5).

$$GRF = \left[\frac{(2GRT) + (1GRG) + (3GRA_t)}{6} \right] \quad (\text{Eq. 5})$$

Na equação 5, o GRF corresponde ao grau de risco final, GRT é o grau de risco topográfico, GRG é o grau de risco geológico e GRA_t é o grau de risco ambiental com o fator redutor devido ao tratamento.

As faixas equivalentes a cada termo linguístico dos graus de risco finais foram estabelecidas através da divisão linear do intervalo entre o menor e o maior grau de risco final em quatro faixas, conforme a tabela 2.

4 | RESULTADOS

As faixas correspondentes a cada grau de risco dos atributos, bem como os termos linguísticos para o município de Aracaju são apresentados na tabela 3.

As faixas de grau de risco final estabelecidas para o município de Aracaju estão apresentadas na tabela 4.

Fatores	Grau de Risco			
	Baixo - 1	Médio - 2	Alto - 3	Muito Alto - 4
Topográficos				
Altura (m)	<10	10-14	14-18	>18
Extensão (m)	<159	159-302	303-445	>445
Declividade (%)	<91	91-135	136-180	>180
Morfologia (Perfil)	Côncava 	Retilínea 	Cônc-Conv 	Convexa 
Morfologia (Planta)	Convexo 	Retilínea 	Sinuosa 	Côncava 
Geológicos				
Litologia	Solo Residual Maduro	Grupo Barreiras	Unidades Quaternárias (Continentais)	Unidades Quaternárias (Marinhas)
Textura	Areno-Argilosa	Areno-Siltosa	Argilo-Arenosa	Argilosa/Arenosa
Estrutura	Homogênea	Mergulho Oposto	Sub-Horizontal	Sub-Vertical
Movimento e Transporte de Massa	<ul style="list-style-type: none"> • Ausentes • Rav. Sup. 	Cicatrizes	Erosão no Pé Da Encosta	<ul style="list-style-type: none"> • Rav. Profundo • Fendas
Ambientais				
Vegetação (%)	>70	70-30	<30	Ausente
Drenagem	<ul style="list-style-type: none"> • Extensiva • Parcial 	Insuficiente	Tópica	Inexistente
Cortes	Isolados	Em Patamares	Desordenados (-)	Desordenados (+)
Densidade Populacional (hab/ha)	<44	44-70	71-98	>98
Saneamento	Saneada	Estação de Tratamento	Fossa e Sumidouro	Água Servida Escoando
Tratamento	<ul style="list-style-type: none"> • Extensivo • Parcial 	Insuficiente	Tópico	Inexistente

Tabela 3 – Faixas de Grau de Risco dos Atributos Correspondentes aos Fatores

Grau de Risco	Faixa de Valores
Risco Baixo	<2,14
Risco Médio	2,14-2,40
Risco Alto	2,41-2,67
Risco Muito Alto	>2,67

Tabela 4 – Faixas de Grau de Risco Final de Aracaju-SE

A tabela 5 mostra os graus de risco topográfico, geológico e ambiental das encostas. São apresentados também os valores do grau de risco final para cada setor calculado através da equação 5. Observou-se que os resultados foram compatíveis com as características apresentadas em campo.

Setores de Encostas	Regiões	Grau de Risco Topográfico	Grau de Risco Geológico	Grau de Risco Ambiental	Grau de Risco Final Aracaju	Termo Linguístico
01	Sul	1,80	2,00	2,60	2,23	Risco Médio
02	Oeste	3,00	2,50	2,60	2,72	Risco Muito Alto
03		2,20	1,75	3,80	2,93	Risco Muito Alto
04		1,80	2,00	2,80	2,33	Risco Médio
05		1,80	2,50	3,00	2,52	Risco Alto
06		1,60	2,00	2,80	2,27	Risco Médio
07		1,00	2,00	3,40	2,37	Risco Médio
08		2,20	2,00	2,67	2,40	Risco Médio
09		1,80	3,00	3,40	2,80	Risco Muito Alto
10		2,00	1,75	2,80	2,36	Risco Médio
11		Norte	2,60	2,25	2,60	2,54
12	1,80		2,25	1,80	1,88	Risco Baixo
13	2,20		2,00	2,60	2,37	Risco Médio
14	2,40		2,00	3,00	2,63	Risco Alto
15	1,80		1,50	3,40	2,55	Risco Alto
16	2,20		2,25	2,60	2,41	Risco Alto

Tabela 5 – Grau de Risco por Encosta do Município de Aracaju

4.3 Zoneamento de Risco das Áreas de Aracaju

Os setores de risco baixo estão representados pela cor verde, os de risco médio pela cor amarela, os setores de risco alto na cor laranja e os de risco muito alto na cor vermelha.

4.3.1 Setores de Risco Baixo

Apenas o setor 12 (Figura 1), localizado na rua Curitiba no bairro Industrial, foi classificado como de risco baixo de deslizamento.



Figura 1. Zoneamento do setor 12 situado no bairro Industrial (Adaptado do Google, 2016).

4.3.2 Setores de Risco Médio

Os setores 01, 04, 06, 07, 08, 10 e 13 (Figuras de 2 a 6) foram classificados como de risco médio.



Figura 2. Zoneamento do setor 01 situado no bairro Santa Maria (Adaptado do Google, 2016).

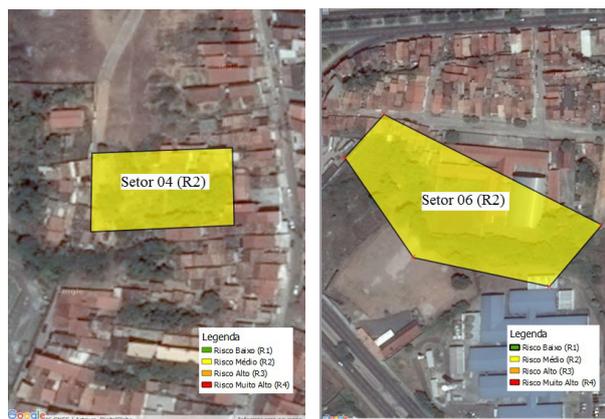


Figura 3. Zoneamento dos setores 04 e 06 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).

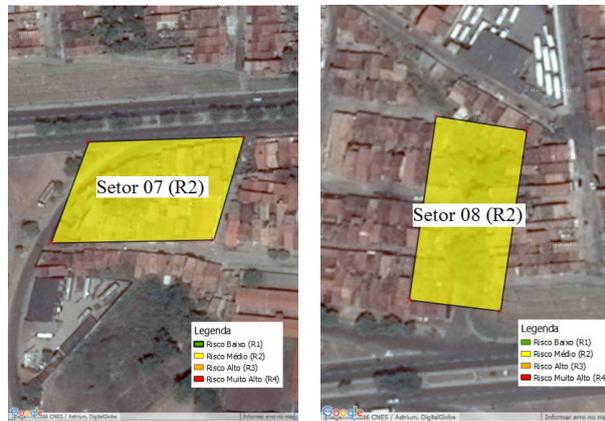


Figura 4. Zoneamento dos setores 07 e 08 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).



Figura 5. Zoneamento do setor 10 situado no bairro Suíssa (Adaptado do Google, 2016).

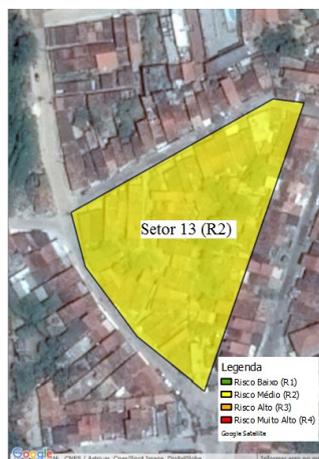


Figura 6. Zoneamento do setor 13 situado no bairro Industrial (Adaptado do Google, 2016).

4.3.3 Setores de Risco Alto

Os setores 05, 11, 14, 15 e 16 (Figuras de 7 a 11) apresentaram grau de risco alto.



Figura 7. Zoneamento do setor 05 situado no bairro América (Adaptado do Google, 2016).

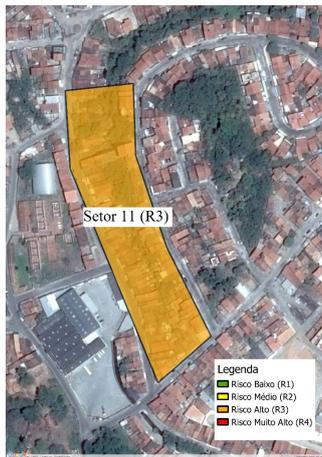


Figura 8. Zoneamento do setor 11 situado no bairro Industrial (Adaptado do Google, 2016).



Figura 9. Zoneamento do setor 14 situado no bairro Japãozinho (Adaptado do Google, 2016).

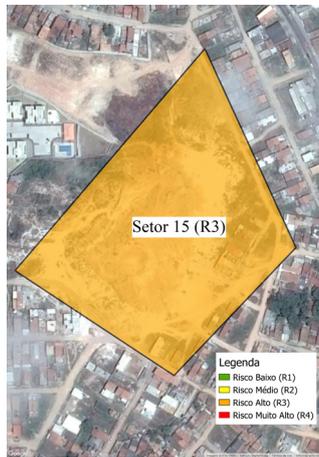


Figura 10. Zoneamento do setor 15 situado no bairro Cidade Nova (Adaptado do Google, 2016).



Figura 11. Zoneamento do setor 16 situado no bairro Porto Dantas (Adaptado do Google, 2016).

4.3.4 Setores de Risco Muito Alto

Os setores 02, 03 e 09 (Figuras 12 a 13) apresentam grau de risco muito alto.



Figura 12. Zoneamento do setor 02 situado no bairro Jabotiana (Adaptado do Google, 2016).

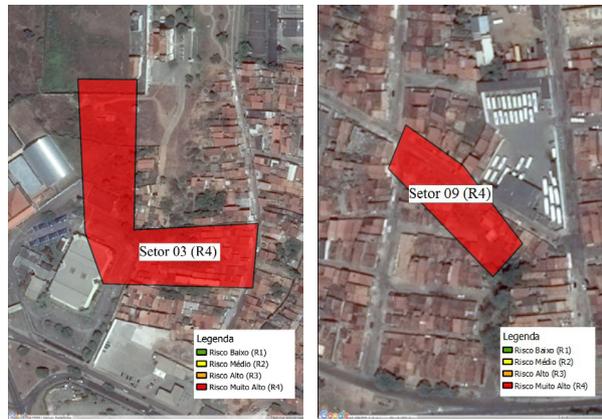


Figura 13. Zoneamento dos setores 03 e 09 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).

5 | CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que 50% dos setores de encosta estudados foram classificados com grau de risco alto e muito alto. A partir disso, é possível concluir que a análise qualitativa de risco utilizada, além de ser altamente viável na avaliação do risco pelas entidades fiscalizadoras, é uma importante ferramenta para a análise preliminar, o que permite o reconhecimento e a hierarquização das áreas que justificariam a aplicação de metodologias mais sofisticadas associadas aos grandes avanços tecnológicos.

REFERÊNCIAS

- Alheiros, Margareth Mascarenhas (1998). **Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. 129 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Araújo, H. M. (2006). Elementos Componentes do Sistema Ambiental Físico de Aracaju. In: ARAÚJO, H. M.; VILAR, J. W. C.; WANDERLEY, L. L.; SOUZA, R. M.. (Org.). **O Ambiente Urbano: visões geográficas de Aracaju**. São Cristóvão, UFS, p. 15-42.
- Brasil (2013). Ministério de Minas e Energia. **Ação Emergencial para Delimitação da Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa**. Aracaju, CPRM. 18 p.
- Cerri, L. E. S. et al. (2007). **Mapeamento de Risco em Assentamentos Precários no Município de São Paulo**, *Revista Geociências*, São Paulo, Vol. 26, No. 2, pp. 143-150.
- Fontes, A. L. (2003). **O Quaternário Costeiro e o Município de Aracaju (SE)**. *2º Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas*. Recife, Brasil.
- Gusmão Filho, J. A. et al. (1982). **Caracterização Geológico-Geotécnica dos Morros de Olinda**. *7º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*. Olinda, Brasil, pp. 75-102.
- Gusmão Filho, J. A., Melo, L. V., Alheiros, M. M. (1992). **Relatório Temático sobre Encostas**. Plano Diretor de Jaboatão dos Guararapes. Recife.

Moura, D. S. S. et al. (2006). **Mapeamento de risco simplificado de deslizamento de encostas no município de Tibau do Sul – RN**. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Natal.

ONU. United Nations Inter Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UNI/ISDR). **Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives**. vol. I. Genebra, Suíça, 2004. 431 p.

ONU. United Nations Inter Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UNI/ISDR). **Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives**. vol. II. Genebra, Suíça, 2004. 127 p.

Sergipe (2014). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe**.

Sergipe (2015). Secretaria do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Perfil: Grande Aracaju e Aracaju**. Aracaju, Brasil. 11 p.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise numérica 130

Arenito 35, 37, 119, 120, 121, 122, 125, 128

Aterro 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 39, 47, 49, 50, 52, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 66, 67, 84, 88, 145, 146, 151, 153, 154, 155

B

Backfill 62, 63, 65, 66

Barragem 66, 105, 106, 107, 108, 112, 114, 116

C

CCP 38, 39, 40, 41, 42, 48

Cepilhamento 38, 39, 41, 42, 46, 48

Colunas de brita 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61

Compressão simples 1, 4, 7, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 35, 36, 37, 116

D

Deslizamento 64, 79, 80, 91, 92, 93, 98, 104

Disposição de rejeitos 62, 63, 65

Drenos fibroquímicos 50, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 59

E

Embutimento em rocha 139, 141

Encostas urbanas 91

Ensaio 1, 7, 9, 13, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 56, 60, 64, 73, 105, 106, 107, 108, 109, 113, 114, 115, 116, 118, 120, 121, 122, 124, 125, 128, 133, 145, 148, 149, 150, 151, 152, 154

Estabilização 4, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 46, 48, 52, 58, 59, 68, 76, 78, 83, 84, 85, 144, 150

Estabilização de encostas 78, 83, 85

Estacas 86, 87, 88, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142

F

Formação Chicontepec 119, 120, 121

Formação Santos 119, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128

I

Implantação 3, 39, 52, 57, 59, 60, 74, 75, 76, 85, 91, 93, 105, 112, 155

Investigações geológicas-geotécnicas 105

M

Material pétreo 14, 116

Mistura asfáltica 14, 20

O

Ocupação antrópica de encostas 78

P

Pavimentação 5, 26, 27, 30, 32, 35, 36, 37, 58, 59, 155

Poliestireno expandido (EPS) 1, 2

R

Radier estaqueado 130, 131, 134, 136, 137, 139, 142

Recalque 12, 47, 50, 51, 57, 58, 59, 130, 131, 134, 136, 139, 140, 141, 142, 148

Rejeitos de mineração 62

Reservatório arenítico turbidítico 119

Resíduo 17, 21, 22, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48

Resíduos cerâmicos 14, 16, 20, 21

Resíduos de construção e demolição 14, 16, 25

Resistência à compressão simples 26, 27, 29, 30, 33, 35, 36, 116

Resistência à compressão uniaxial 109, 118, 119, 120, 125, 128, 132, 133

Risco geológico 78, 81, 82, 83, 92, 96, 98

S

Solo 3, 5, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 64, 66, 70, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 93, 94, 105, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 139, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155

Solo-cal 26, 27, 28, 29, 33, 35, 36

Solos moles 1, 2, 3, 13, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 59, 60, 61, 144, 145, 147, 148, 151, 153, 154, 155

Stone Matrix Asphalt 14, 15, 16, 25

T

Tubos de geotêxteis 62

Z

Zoneamento de risco 91, 92, 98

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-746-8



9 788572 477468