

Metodologia para classificação do potencial de risco de orlas fluviais no estado do Amazonas

Daniel Jardim Almeida

Doutorando, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, danieljardimalmeida@gmail.com

Marcos Valério Mendonça Baia

Mestre, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, Brasil, engebaia@gmail.com

Victor Hugo Rodrigues Barbosa

Doutorando, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, victorhrb@gmail.com

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães

Professor Titular, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, guimaraes@ime.eb.br

Maria Esther Soares Marques

Professora Titular, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, esther@ime.eb.br

RESUMO: Movimentação de terra recorrente nas margens dos rios caracterizado como fenômeno “Terras Caídas” tem provocado acidentes e prejuízos materiais à população ribeirinha em diversos municípios do Estado do Amazonas. Atualmente, o limitado entendimento geotécnico das ações geradoras da movimentação de terra em margens e as condições restritas de execução fazem do desenvolvimento de soluções geotécnicas nas orlas urbanas dos municípios do Amazonas um grande desafio. Este trabalho tem por objetivo propor metodologia para classificação quanto ao potencial de risco geotécnico das orlas fluviais no contexto urbano no estado Amazonas. O modelo considera aspectos de Periculosidade e Importância Estratégica fornecendo uma ferramenta adicional para subsidiar a tomada de decisões, permitindo focar a atenção naquelas que apresentarem situação mais crítica quanto ao risco geotécnico e ao dano ambiental através da classificação das 13 microrregiões do estado. Foram considerados critérios como isoetas médias anuais, geomorfologia dos rios, formação geológica, velocidade média, variação de cota média anual e utilização dos portos para definição dos parâmetros. E assim, de acordo com seu potencial de risco definido, as microrregiões devem se submeter a novas inspeções e a restrições técnicas de segurança com sua periodicidade definida em função da classificação atribuída.

PALAVRAS-CHAVE: Risco, Terras Caídas, Amazonas, Classificação Geotécnica, Periculosidade.

ABSTRACT: Recurrent land slide on the banks of rivers characterized as the “Fallen Land” phenomenon has caused accidents and material damage to the population on the banks of the Amazon in several municipalities. Currently, the limited geotechnical understanding of the actions generated by the movement of earth in the margins and the remaining conditions of execution make the development of geotechnical solutions in the urban fronts of the municipalities of Amazonas a great challenge. This work aims to propose a methodology for classification for potential for geotechnical risk of riverbanks in the urban context in the state of Amazonas. The model considers aspects of Breaching Parameter and Strategic Importance by providing an additional tool to support decision-making, allowing to focus attention on those that present the most critical situation regarding geotechnical risk and environmental damage through the classification of the 13 micro-regions of the state. The criteria used for modeling were considered such as geomorphology of rivers, geological formation, variation of average annual quota and use of ports to define parameters. And so, according to their defined risk potential, the micro-regions must undergo new inspections and technical safety restrictions with their frequency defined according to the assigned classification.

KEYWORDS: Risk, Fallen Lands, Amazonas, Geotechnical Classification, Breaching Parameter.

1 Introdução

A ablação ou desbarrancamento das margens fluviais ocorrem frequentemente no estado do Amazonas e é denominado pela população local de “Terras Caídas” (Igreja et al. 2010). Uma análise do risco geotécnico dos diversos tipos de rios na região pode ser capaz de produzir uma ferramenta complementar de gestão para auxiliar na tomada de decisões por parte de empresas e órgãos fiscalizadores contribuindo com planejamento de ações de controle e emergência na segurança pública. A instabilidade geotécnica dos taludes de margens pode estar relacionada a diversos fatores:

- Clima, como precipitação e evaporação;
- Alterações do nível do rio;
- Fatores geológicos, como propriedades do solo e da rocha;
- Fatores topográficos, como gradiente, aspecto e ângulo do talude;
- Presença de vegetação ripária
- E uso da terra, incluindo infraestrutura.

Planejar a ocupação da terra pode reduzir consideravelmente os custos no desenvolvimento regional e evitar ou minimizar os impactos ambientais. Carvalho et al. (2006) reforçam a ideia de que a falta de visão integrada da engenharia pode resultar em vários impactos, destacando-se a erosão antrópica. Uma adequada avaliação do solo se faz necessária para subsidiar projetos geotécnicos de qualidade, bem como dar uso aos mecanismos de avaliação de risco para melhor gerenciamento dos esforços de controle ambiental.

A erosão fluvial está associada à dinâmica natural dos rios e é causada pela força da correnteza das águas fluviais, que retiram detritos do fundo e, principalmente, das margens dos rios, promovendo o desgaste na base dos taludes e o consequente desmoronamento de barrancos. Um fenômeno comum que potencializa os processos erosivos nas margens dos rios da bacia Amazônica é a flutuação sazonal, definido por Junk et al. (1989) como pulso de inundação. Esse fenômeno, que promove expansão lateral dos rios, é considerado previsível como resposta ao regime pluviométrico anual (Teixeira, 2010). Os diferentes tipos de rios na bacia amazônica está associada à precipitação média anual por região (Junk et al., 2011) e sua formação geológica. Fadanelli (2019) identificou por meio de instrumentação e análises por equilíbrio limite que taludes de margem no Rio Madeira não se comportam de forma perfeitamente drenada gerando o efeito de “rebaixamento rápido” reduzindo sua estabilidade em períodos de vazante.

Não é possível, no entanto, evitar os desastres relacionados aos deslizamentos de taludes somente com o desenvolvimento do conhecimento teórico e aplicações estruturais de estabilização. É de suma importância um comprometimento político-social que objetive a transmissão do conhecimento sobre os perigos da ocupação desordenada. Existem programas de prevenção de deslizamento de terra baseados em investigações específicas in loco, programas de monitoramento de movimento-deslocamento (Malet et al., 2007; Gamba et al., 2017), e modelos estatísticos (Griffiths & Fenton, 2007).

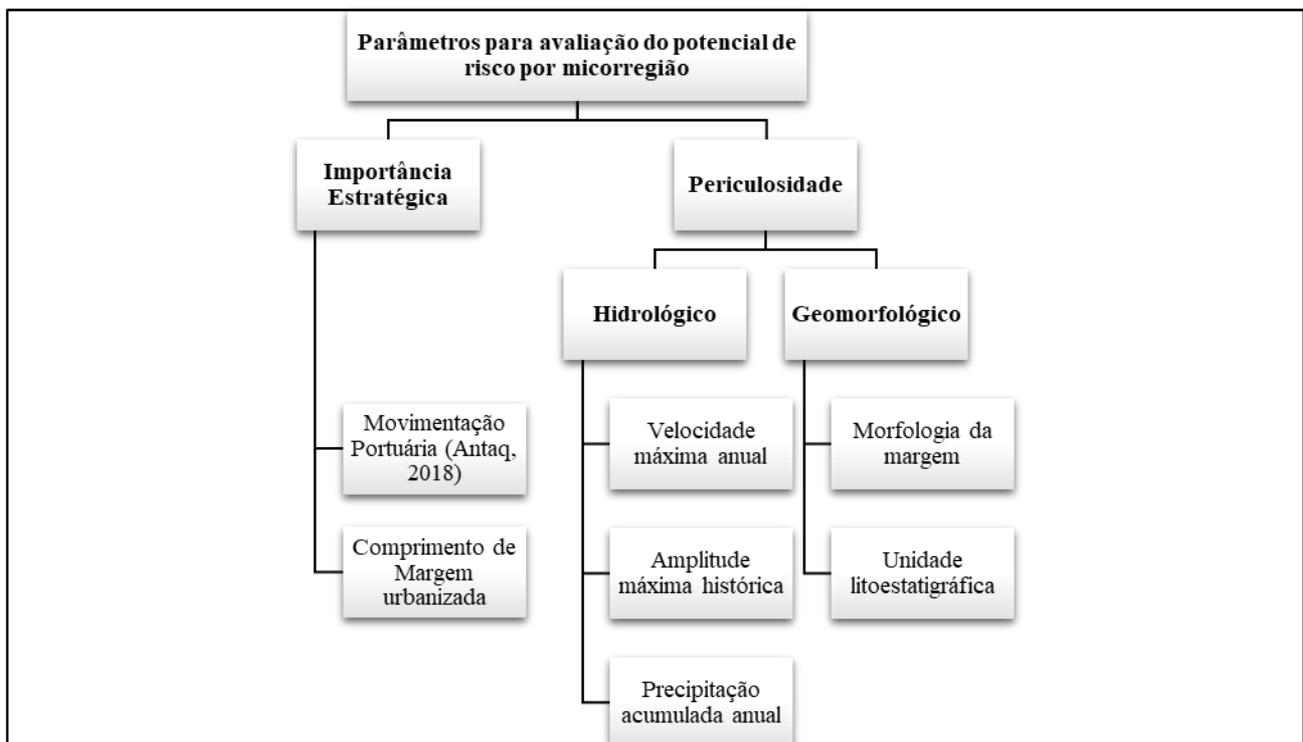
O objetivo deste artigo é propor uma metodologia de classificação quanto ao potencial de risco geotécnico das orlas fluviais urbanas com proposição de parâmetros de avaliação específicos gerando uma ferramenta complementar de gestão para auxiliar na tomada de decisões por parte de empresas e órgãos fiscalizadores. Buscou-se apurar o entendimento do risco de ocorrência de desastres naturais decorrentes de eventos movimentação de terra em orlas no Amazonas na relação entre a periculosidade e importância estratégica, seguindo o modelo conceitual de risco. Para analisar a periculosidade à ocorrência deslizamento de terra, o mapeamento dos eventos, desde sua suscetibilidade espacial e probabilidade temporal até a vulnerabilidade da população exposta se tornaram imprescindíveis.

3 Metodologia

É apresentada uma ferramenta para subsidiar a tomada de decisões estratégicas das orlas fluviais no Amazonas, permitindo focar a atenção naquelas que apresentarem situação mais crítica quanto ao potencial de risco e ao potencial de dano ambiental a partir de modelos de classificação quanto ao potencial de risco de barragens de terra considerando aspectos de Periculosidade e Importância Estratégica. Assim, classificaram-se as treze microrregiões do estado do Amazonas através do potencial de risco geotécnico de suas margens ocupadas. Critérios como uso portuário, isoetas médias anuais, chuva crítica decamilenar, geomorfologia, formação geológica, dados dos rios como a posição da cidade em relação ao meandro, velocidade média e variação do nível d'água médio anual foram considerados. De acordo com o potencial de risco geotécnico por microrregião são definidos fatores de segurança para análise do grau de estabilidade e definições executivas.

A definição do modelo de potencial de risco das microrregiões é fundamentada em parâmetros específicos em função de Periculosidade e Importância Estratégica. A definição de parâmetros para a classificação global por microrregião é apresentado na Figura 1. Selecionou-se 13 municípios de maior relevância que possuem orla fluvial para representar cada uma das 13 microrregiões do estado e, assim, apresentar uma classificação regional.

Figura 1. Parâmetros para avaliação do potencial de risco das microrregiões.



2.1 Definição do Modelo de Potencial de risco

Conforme elucidado, as margens fluviais e suas obras de contenção no estado do Amazonas são diferentes das obras convencionais. Por isso, verificou-se a necessidade de modificar e criar novos parâmetros a partir do modelo de Menescal *et al.* (2001), que propõe um modelo de potencial de risco para barragens e açudes no semiárido brasileiro, de modo a torná-lo aplicável e representativo para avaliação de maneira global das microrregiões.

Menescal *et al.* (2001) propõem um esquema para Avaliação do Potencial de Risco. A partir das informações técnicas de projeto e construção, pode-se determinar a Periculosidade (P) das estruturas de

barragem. Com base no estabelecimento de critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais é definida a Importância estratégica (I) daquelas obras. Com base nos dados de inspeção de campo e de leitura de instrumentação é efetuada uma avaliação preliminar da segurança que permite a estimativa da Vulnerabilidade (V). O potencial de risco é calculado a partir destes três parâmetros (P, I e V) e permite a priorização de ações a serem desenvolvidas na fase de planejamento e programação da manutenção. A continuidade das inspeções de campo permite uma reavaliação das medidas adotadas para que seja alcançada uma maior eficiência do esquema.

Para aplicação nesta pesquisa, o parâmetro de vulnerabilidade não é considerado, seria necessário definir parâmetros de integridade das estruturas de contenção das margens urbanas para condições muito diversas. Assim, a partir dos pesos atribuídos aos diversos aspectos considerados na avaliação de P e I, foram estabelecidos critérios para definir os níveis com que as microrregiões deverão ser tratados com relação à inspeção, definição de soluções e direcionamento de esforços. Compõe essa parte do modelo dois conjuntos de parâmetros ou características técnicas que, pela sua magnitude, permitem retratar o grau de Periculosidade (P). A pontuação para Periculosidade (P) é alcançada através do somatório da pontuação dos parâmetros PG e PH, de acordo com as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Periculosidade Geomorfológica (PG).

Morfologia da Margem		Unidade Litoestratigráfica	
Retilínea	(0)	Formação Alter do Chão (65x10 ⁶ anos)	(3)
Anastomosado ou Convexo	(3)	Formação Içá ou Solimões (1,8 x10 ⁶ anos)	(5)
Côncavo	(7)	Depósitos Aluvionares ou Fluviais (0,01x10 ⁶ anos)	(7)

Tabela 2. Periculosidade Hidrológica (PH) (ANA, 2019).

Velocidade máxima anual (m/s)	Amplitude máxima histórica (m)	Precipitação acumulada anual (mm)
0 ≤ V ≤ 0,75 (3)	A _{max} ≤ 10,0 (3)	0 ≤ P ≤ 2.000 (3)
0,75 < V ≤ 2,0 (5)	10,0 < A _{max} ≤ 13,0 (5)	2.000 < P ≤ 2.500 (5)
2,0 < V ≤ 2,2 (7)	13,0 < A _{max} ≤ 16,0 (7)	2.500 < P ≤ 2.800 (7)
V > 2,2 (9)	A _{max} > 16 (9)	P > 2.800 (9)

A somatória dos parâmetros PG e PH, conforme apresenta Equação (1), definem o grau de Periculosidade (P) da microrregião. Se P maior que 70, a periculosidade é classificada como Elevada, se P entre 50 a 69, periculosidade Significativa e se P entre 0 a 49, periculosidade Baixa a Moderada.

$$P = \sum_1^5 p \quad (1)$$

O parâmetro de Importância Estratégica (I) busca definir o valor estratégico associável à microrregião no caso de eventual ruptura. Os aspectos considerados relevantes para a Importância Estratégica (I) foram o Intensidade de uso portuário, segundo ANTAQ (2018), e comprimento de margem urbana que estão sujeitas ao risco em casos de sinistro (Tabela 3).

Tabela 3. Importância Estratégica (I)

Intensidade de uso portuário (ANTAQ, 2018)	Comprimento da Margem Urbana (m)
Baixo (1,3)	0 ≤ D _{max} ≤ 2.500 (1,3)
Médio (1,5)	2.500 ≤ D _{max} ≤ 5.500 (1,5)
Alto (2)	5.500 ≤ D _{max} ≤ 10.000 (2)
Muito Alto (3)	D _{max} ≥ 10.000 (3)

Sendo:

$$I = \sum_1^2 i \quad (2)$$

Aplicando os valores dos dois aspectos (P e I) na Equação (3) tem-se o Potencial de Risco (PR) para cada microrregião.

$$PR = P \times I \quad (3)$$

Como se pode observar, o Potencial de Risco obtido é qualitativo apesar da representação numérica, pois não foi calculado utilizando procedimentos estatísticos. Todavia, o enquadramento das microrregiões em classes de potencial de risco permite definir a classe de potencial de risco (Tabela 4) e as ações recomendadas das orlas fluviais em região urbana (Tabela 5) para cada microrregião e antecipar ações, de modo a evitar falhas e rupturas.

Tabela 4. Classes de Potencial de Risco

Classe	Potencial de Risco - PR
A - Alto	> 150
B - Médio	110 a 150
C - Baixo	< 110

Tabela 5 – Ações recomendadas para gerenciamento das margens fluviais e alocação de recursos.

Ação recomendada	Classificação de Município		
	A	B	C
Inspeção	Monitoramento e Relatório Completo Anual	Monitoramento Relatório Simplificado Anual	Monitoramento e Relatório simplificado a cada quatro anos
Projetos	Investigações detalhadas, fator de segurança rigoroso e soluções específicas	Investigações detalhadas e soluções tradicionais	Proteção superficial e sistema de drenagem.
Controle Socioambiental	Levantamento de áreas de risco e controle de ocupação, monitoramento hidrológico, sistema de alerta e organização local	Levantamento de áreas de risco e controle de ocupação	Levantamento de áreas de risco e controle de ocupação
Especial	Definir intervenção e reclassificação	Em oportunidades tais como cheias excepcionais, rebaixamento rápido, sismos, etc	

As ações são do tipo Rotina de inspeção, nível de projetos, especificação de controle socioambiental e ações especiais. Caso o município seja classificada na classe A (Alto Potencial de Risco) deve haver intervenções anuais na microrregião e atenção especial. Entende-se por inspeções rotineiras aquelas executadas pelas equipes locais de operação e manutenção, como parte regular de suas atividades. Estas inspeções geralmente não geram relatórios específicos, apenas comunicações de eventuais anomalias detectadas.

Investigações detalhadas para propor soluções para regiões complexas exigem um estudo sucinto das condições de projeto, registros existentes e históricos das intervenções, seguido de inspeção de campo e elaboração de relatório.

As ações especiais ocorrem quando algum problema detectado em uma inspeção rotineira ou formal exige maior critério de análise. Sua realização requer o estudo prévio do projeto e de toda documentação disponível. Não existe uma frequência para sua realização e ocorrem sempre que um problema exija a participação de um especialista para seu diagnóstico e solução. Delas deve resultar um relatório específico capaz de orientar de forma conclusiva o encaminhamento da solução.

4 Resultado e análises

Reunindo os dados de cada microrregião é possível aplicar o modelo no estado do Amazonas, a Tabela 5 apresenta os valores encontrados.

Tabela 5. Dados obtidos para classificação das microrregiões.

Microrregião	Movimentação portuária (ANTAQ, 2018)	Comprimento de Margem (m)	Morfologia da margem	Velocidade máxima anual (m/s)	Amplitude máxima histórica (m)	Precipitação acumulada anual (mm)	Unidade Litoestatigráfica
Rio Negro	Médio	4.063,61	Anastomosado	0,728	974	2548,0	Depósitos Aluvionares
Japurá	Baixo	2.189,98	Anastomosado	1,311	1199	2094,0	Formação Içá
Alto Solimões	Médio	3.020,04	Côncavo	2,2	1378	2821,4	Depósitos Aluvionares
Juruá	Baixo	2.178,71	Côncavo	1,32	1650	2196,1	Depósitos Aluvionares
Tefé	Médio	7.863,75	Anastomosado	2,54	1440	2464,0	Formação Içá
Coari	Médio	9.960,63	Anastomosado	2,66	1686	2069,0	Formação Içá
Manaus	Muito Alto	537100	Anastomosado	0,672	1634	2307,4	Formação Alter do Chão
Rio Preto da Eva	-	-	-	-	-	-	-
Itacoatiara	Médio	7.155,34	Côncavo	1,98	1512,5	2261,0	Formação Alter do Chão
Parintins	Médio	5.618,30	Anastomosado	1,884	836	2302,2	Depósitos Aluvionares
Boca do Acre	Baixo	5.541,27	Côncavo	2,083	927	2462,4	Depósitos Aluvionares
Purus	Baixo	3.237,45	Côncavo	2,083	1525	2644,2	Formação Içá
Madeira	Médio	4.118,61	Anastomosado	2,32	1730	2193,6	Depósitos de terraços fluviais

Os municípios de referência adotados para representar cada microrregião, o código da estação fluviométrica utilizada e a influência de cada parâmetro no resultado final da classificação de potencial de risco pode ser observada na Tabela 6. Os resultados dos graus de riscos das microrregiões Rio Negro e Japurá mostraram um potencial de risco Baixo. No entanto, as microrregiões Alto Solimões e Manaus apresentaram potencial de risco alto/emergência, o que revela a necessidade de priorizar a atenção na concepção de projetos nessa região. A microrregião Rio Preto da Eva não possui municípios margeando rios e não foi avaliada.

É apresentado o mapa de risco do estado do Amazonas na Figura 2, apresentando uma comparação entre o modelo de potencial de risco proposto e o histórico de colapsos de margens fluviais observados por Bandeira (2018), de forma a subsidiar os tomadores de decisão com mais informações para a gestão destas estruturas e calibrar o método.

Tabela 6. Classificação do Potencial de Risco Geotécnico de Margem no Estado do Amazonas.

Microrregião	Município referêcia	Rio	Estação Fluviométrica	PR= P _x I
Rio Negro	Barcelos	Rio Negro	14480000	69
Japurá	Japurá	Japurá	12850000	59,8
Alto Solimões	Tabatinga	Solimões	10100000	123
Juruá	Eirunepé	Juruá	12550000	91
Tefé	Tefé	Solimões	12875000	101,5
Coari	Coari	Solimões	13150000	108,5
Manaus	Manaus	Negro/Amazonas	14990000	126
Rio Preto da Eva	-	-	-	-
Itacoatiara	Itacoatiara	Amazonas	16030000	94,5
Parintins	Parintins	Amazonas	16350002	87,5
Boca do Acre	Boca do Acre	Purus/Acre	13710000	102,3
Purus	Lábrea	Purus	13710000	92,4
Madeira	Humaitá	Madeira	15630000	105

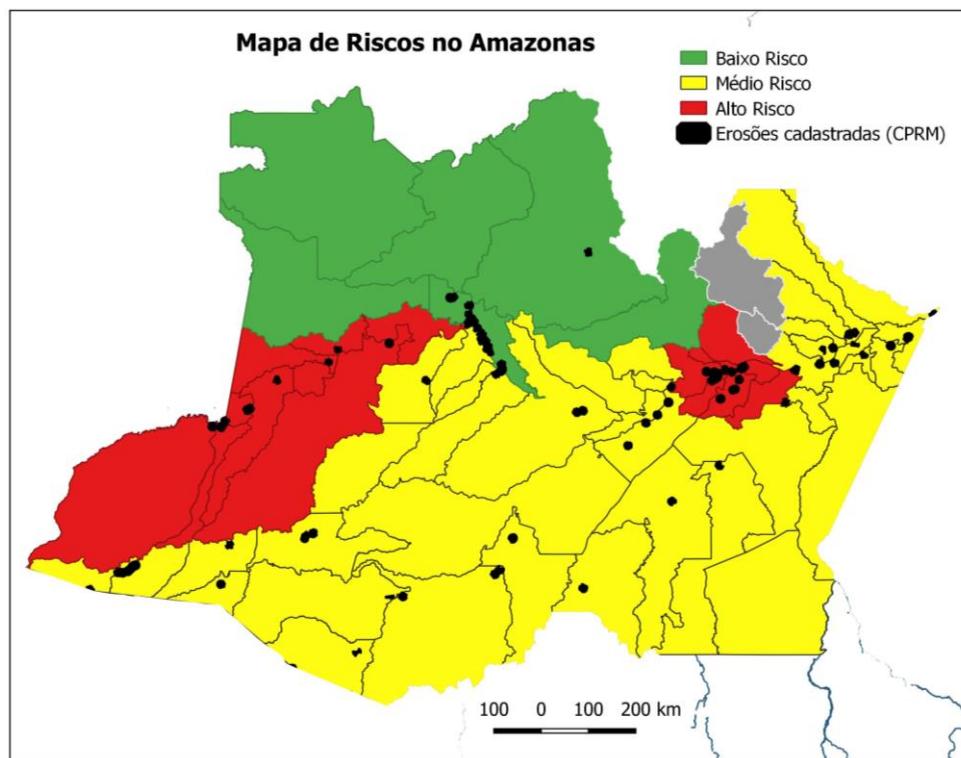


Figura 2. Mapa de grau de risco de instabilidade geotécnica de orlas fluviais no estado do Amazonas.

5 Conclusão

Existem vários parâmetros que devem ser analisados para a classificação de segurança, e estes parâmetros ainda não foram padronizados pela literatura. Parâmetros quantitativos, consequências sociais, econômicas e ambientais a montante, questões estruturais e custos para reabilitação são aspectos que devem ser levados em consideração, mas ainda carecem de estudos. A dificuldade de padronização destes aspectos se baseia nas diferenças de gestão de cada país ou cada região, e pelo fato de cada município apresentar características próprias (solo, método de construção, propriedades, etc).

Os processos de análise de risco continuam a ser desenvolvidos e usados como uma ferramenta para melhorar a compreensão do comportamento geotécnico, identificando exigências de inspeção e priorizando investigações e trabalhos de redução do risco. Os reguladores, conjuntamente com proprietários, trabalham com o governo para avançar o conceito de critérios aceitáveis de risco, incentivando o investimento no desenvolvimento e acoplando partes interessadas no processo de avaliação de risco.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). *HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas*. Disponível em: Acesso em: 02 de fevereiro de 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). *Caracterização da oferta e da demanda do transporte fluvial de passageiros e cargas na região amazônica*. Brasília: ANTAQ, 2018.
- BANDEIRA, I. C. N., ADAMY, A., ANDRETTA, E. R., COSTA DA CONCEIÇÃO, R. A., & DE ANDRADE, M. M. N. (2018). *Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon Environmental Earth Sciences*, 77(6). doi:10.1007/s12665-018-7405-7
- CARVALHO J. C., SALES M. M., SOUZA N. M., MELO M. T. S. (2006) *Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC.
- FADANELLI, LIS EVELINE ATHAYDES. *Análise do comportamento de taludes de calhas fluviais submetidos a variações rápidas do nível de água do rio – caso do rio Madeira, Porto Velho-RO/ Lis Eveline Athaydes Fadanelli*. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.
- GAMBA C. T. C., ALBARELLI D. S. N. A., CRISMA P. R., AZEVEDO A. A., DOZZI L. L. F. S., MACEDO K. A. C., LUBECK D., BARRETO T. L. M., MATOS L., NOGUEIRA J.B. (2017). *Avaliação da Interferometria Diferencial (DInSAR), gerada com a Banda-P, na detecção e medição de movimentos do terreno nas margens do Rio Madeira, RO-AM*. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR.
- GRIFFITHS, D.V. & FENTON, G. A. (2007). *Probabilistic methods in geotechnical engineering*. Springer Wien New York, Itália, 346 p.
- IGREJA, H. L. S. da; CARVALHO, J. A. L. de; FRANZINELLI, E. (2010). *Aspectos das Terras Caídas na Região Amazônica*. In: ALBUQUERQUE, A. R. da C. Contribuições Teóricametodológicas da Geografia Física (Org.). Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, p. 135- 153.
- JUNK W. J., PIEDADE M. T. F., SCHONGART J., ADENEY J. M., WITTMANN F. (2011) *A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands*. Society of Wetland Scientists.
- MALET, J.P.; DURAND Y., REMAÎTRE, A., MAQUAIRE, O., ETCHEVERS, P., GUYOMARC'H, G., DÉQUÉ, M., & BEEK; L.P.H. (2007). *Assessing the influence of climate change on the activity of landslides in the Ubaye Valley*. International Conference on Landslides and Climate Change – Challenges and Solutions, Londres, Inglaterra, 1: 195–205.
- MENESCAL, R. A.; CRUZ, P. T.; CARVALHO, R. V.; FONTENELLE, A. S.; OLIVEIRA, S. K. F. (2001). *Uma metodologia para avaliação do potencial de risco em barragens do semi-árido*. In: Seminário Nacional De Grandes Barragens, 24., 2001. Fortaleza.
- TEIXEIRA, S.G. (2010) Geological hazard. In: Maia MAM, Marmos JL (org) *Geodiversity of the State of Amazonas*. Mineral Resources Research Company—CPRM, Manaus.