

A Influência Do Deslocamento Permanente Tolerável No Coeficiente De Aceleração Sísmica Obtido Pela Metodologia Proposta Por Papadimitriou *et al.* (2014)

Felipe Vianna Amaral de Souza Cruz

Engenheiro Geotécnico, DF+ Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, fcruz@dfmais.eng.br

Gabriel de Oliveira Sant'Ana

Engenheiro Geotécnico, DF+ Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, gsantana@dfmais.eng.br

Marina Paula Secco

Engenheira Geotécnico, DF+ Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, msecco@dfmais.eng.br

RESUMO: A engenharia sísmica é essencial para a segurança estrutural, inclusive em regiões intraplacas, como no Brasil. Determinar coeficientes sísmicos precisos é crucial para projetos de estruturas prediais, obras de arte e, especialmente, barragens de terra, concreto e estruturas de contenção. A metodologia de Papadimitriou *et al.* (2014), que fora desenvolvida para barragens e grandes aterros, estima esses coeficientes com base em características geotécnicas e geométricas, distinguindo três valores de aceleração sísmica: PGA_{rock} , PGA na fundação e PGA_{crest} na crista da estrutura. Este estudo explora a relação entre deslocamento tolerável e coeficientes de aceleração sísmica, enfatizando a necessidade de considerar essa variável na avaliação de risco sísmico. As definições de deslocamento permanente devem ser as mais precisas possível para garantir a estabilidade das estruturas, considerando questões como operacionalidade, drenagem e estabilidade do maciço. Mudanças nesse deslocamento podem afetar significativamente o dimensionamento do coeficiente sísmico, impactando a segurança estrutural em caso de terremoto.

PALAVRAS-CHAVE: Coeficiente de Aceleração Sísmica, Análise Pseudoestática, Deslocamento Permanente Tolerável.

ABSTRACT: Seismic engineering is essential for structural safety, even in intraplate regions such as Brazil. Determining accurate seismic coefficients is crucial for the design of building structures, civil engineering works, and especially for earth dams, concrete dams, and retaining structures. The methodology developed by Papadimitriou *et al.* (2014), specifically designed for dams and large embankments, estimates these coefficients based on geotechnical and geometric characteristics, distinguishing three values of seismic acceleration: PGA_{rock} , $PGA_{foundation}$, and PGA_{crest} at the crest of the structure.

This study explores the relationship between tolerable permanent displacement and seismic acceleration coefficients, emphasizing the need to consider this variable in seismic risk assessment. Accurate definitions of permanent displacement are essential to ensure the stability of structures, taking into account factors such as operability, drainage, and the stability of the embankment. Changes in this displacement can significantly affect the determination of the seismic coefficient, thereby impacting structural safety in the event of an earthquake.

KEYWORDS: Seismic Acceleration Coefficient, Pseudo-static Analysis, Tolerable Displacement

1 INTRODUÇÃO

A sismicidade no Brasil, embora menos intensa em comparação com regiões tectonicamente mais ativas, é um fenômeno prevalente. Localizado na Placa Sul-Americana, predominantemente composta por crosta continental, o país experimenta eventos sísmicos devido à complexa interação com a Placa de Nazca,

especialmente na Zona Sísmica do Atlântico Sudoeste. Apesar da maioria dos terremotos ser de baixa magnitude, eventos notáveis como o terremoto de 1955 em Mato Grosso (magnitude 6.2) destacam a importância de compreender padrões e causas da sismicidade para avaliação de riscos. A análise de risco sísmico requer consideração da geologia local, estruturas geodinâmicas e falhas intraplaca. Pesquisas sismológicas, focadas no mapeamento e identificação dessas falhas, são cruciais para entender a sismicidade brasileira.

Segundo Cruz et al (2022), no contexto geotécnico brasileiro, a avaliação da estabilidade estrutural de barragens, considerando os efeitos da carga sísmica ganhou destaque devido à norma ABNT NBR 13.028:2017, que exige a análise de condições pseudoestáticas em barragens para o contexto da mineração. Esta norma orienta a necessidade de estudos sísmicos na área de implementação dessas estruturas, mesmo durante as fases iniciais do projeto, para avaliar a potencial sismicidade na região do projeto.

Embora a ABNT NBR 13028:2017 indique a determinação do Terremoto Máximo Credível (MCE) por meio de análises determinísticas baseadas em considerações geológicas, dados sismológicos e mapeamento detalhado de falhas ativas, essa metodologia está atualmente desatualizada, especialmente em regiões continentais de baixa sismicidade, devido à escassez de dados sísmicos nessas áreas. Assim, a avaliação da ameaça sísmica tem sido predominantemente realizada por meio da metodologia de Análise de Risco Sísmico Probabilística (PSHA), que fornece o espectro de aceleração para um terremoto provável, permitindo a estimativa da aceleração máxima do solo (PGA) para diferentes períodos de retorno. A PSHA é crucial para determinar os coeficientes de aceleração sísmica usados em análises pseudoestáticas, tornando-se um requisito normativo. As análises pseudoestáticas representam uma abordagem simplificada que exclui efeitos dinâmicos intensos, comportamento inercial e não avalia os níveis de deformação necessários para desencadear a falha, não sendo indicada para análise de materiais susceptíveis a liquefação (Hynes-Griffin e Franklin, 1984). Apesar dessa limitação, é um método simples, amplamente utilizado no Brasil e incorporado em programas de computador para análise de estabilidade de taludes por equilíbrio limite. No entanto, a precisão dos resultados depende do valor do coeficiente de aceleração sísmica horizontal (k_h) usado para estimar a força de inércia. Nesse sentido, o uso de uma metodologia apropriada para determinar k_h é essencial. Assim, este estudo apresenta uma análise sobre a influência do deslocamento tolerável com o k_h , avaliando a metodologia proposta por Papadimitriou *et al.* (2014).

2 ANÁLISE PSEUDOESTÁTICA

Segundo Cruz *et al.* (2024) as análises pseudoestáticas representam uma abordagem simplificada que negligencia os efeitos dinâmicos significativos, a inércia estrutural e a avaliação de deformações que possam levar à instabilidade do maciço. Estas análises não são recomendadas nem representativas para a avaliação de materiais suscetíveis à liquefação dinâmica (Hynes-Griffin e Franklin, 1984), sendo preferível avaliar tais estruturas por meio de estudos de carregamento dinâmico.

Para a determinação do coeficiente de aceleração sísmica horizontal (k_h) utilizado nas análises pseudoestáticas, existem várias metodologias propostas, como algumas citadas na Tabela 1 retirada do livro de Duncan, Wright e Brandon (2014) e modificada pelos autores trabalho, demonstrando que muitas das metodologias empregadas para a determinação do coeficiente de aceleração sísmica foram desenvolvidas considerando um deslocamento permanente tolerável de 100 cm para as estruturas, sendo que nem sempre esse valor é admissível para as estruturas em análise.

Segundo Duncan, Wright e Brandon. (2014), metodologias mais recentes são mais complexas e exigem estudos cuidadosos antes de sua implementação. A metodologia proposta por, Bray e Macedo (2019), é uma continuação do trabalho proposto por Bray e Travarou (2009), que não será escopo deste trabalho, dimensiona o k_h através da variação do deslocamento permanente tolerável, assim como a metodologia proposta por Papadimitriou et al. (2014), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Métodos para Estimativa do Coeficiente de Aceleração Sísmica (Duncan, Wrigth e Brandon, 2014, adaptado pelos autores).

Referência	Aceleração de referência (A_{ref})	Fator de correção (a/a_{Ref})	Fator de redução da resistência ao cisalhamento	Fator de segurança aceitável	Deslocamento Tolerável
Seed (1979)	0,75g ($M \approx 6\frac{1}{2}$)	0,13	0,85	1,15	$\approx 1,00m$
Seed (1979)	0,75g ($M \approx 8\frac{1}{4}$)	0,17	0,85	1,15	$\approx 1,00m$
Hynes-Griffin e Franklin (1984)	PGA_{rock} ($M \leq 8,3$)	0,50	0,80	1,0	1,00m
Kavazanjian <i>et al.</i> (1997)	PGA_{soil}	0,17 (se possuir amplificação)	0,80	1,0	1,00m
Kavazanjian <i>et al.</i> (1997)	PGA_{soil}	0,50	0,80	1,0	1,00m
Bray <i>et al.</i> (1998)	PGA_{rock}	0,75	1,00	1,0	0,30m para crista e 0,15m para base do aterro
Bray e Travasarou (2009)	Aceleração espectral (5% de amortecimento)	Depende da altura do talude e deslocamento	Não houve avaliação	Variável	Variável
Papadimitriou <i>et al.</i> (2014)	PGA_{rock}	Depende da altura do talude e deslocamento	Não houve avaliação	Variável	Variável
Bray e Macedo (2019)	Aceleração espectral (5% de amortecimento)	Depende da altura do talude e deslocamento	Não houve avaliação	Variável	Variável

Cruz *et al.* (2024) realizaram uma comparação entre as metodologias propostas por Papadimitriou *et al.* (2014) e Bray e Macedo (2019), concluindo que ambas apresentaram coeficientes sísmicos consistentes e na mesma ordem de grandeza. Não foi observada uma tendência de otimismo ou pessimismo em nenhuma das metodologias, com variações no comportamento dependendo das estruturas analisadas. Este trabalho focará exclusivamente na metodologia de Papadimitriou *et al.* (2014), examinando a influência da variação do deslocamento tolerável na obtenção do coeficiente sísmico.

3 PAPADIMITRIOU ET AL (2014)

O critério desenvolvido por Papadimitriou *et al.* (2014) é baseado em uma análise abrangente de dados (com 1084 superfícies de ruptura avaliadas, resultadas de um total de 110 análises sísmicas não linear de seções transversais 2D), apesar do extenso banco de dados da análise, vale ressaltar que o estudo foi realizado com apenas 4 diferentes sismos analisados, a metodologia fundamenta-se no pico de aceleração sísmica (PGA), distinguindo-o em três valores distintos ocorrentes no topo rochoso (PGA_{rock}), na camada de solo da fundação (PGA) e na crista da estrutura (PGA_{crest}), sendo a amplificação para o PGA na crista uma das vantagens da metodologia, pois entende-se que esse é o pior cenário, pois conta com a maior aceleração sísmica que uma barragem ou grande aterro podem obter. Esta metodologia, concebida em 5 etapas distintas, gera uma curva de amplificação desses valores, além de considerar, de maneira muito clara e direta a superfície de ruptura e aspectos da geometria da estrutura, como a presença de bermas de equilíbrio e sua altura total, conforme apresentado na Figura 1.

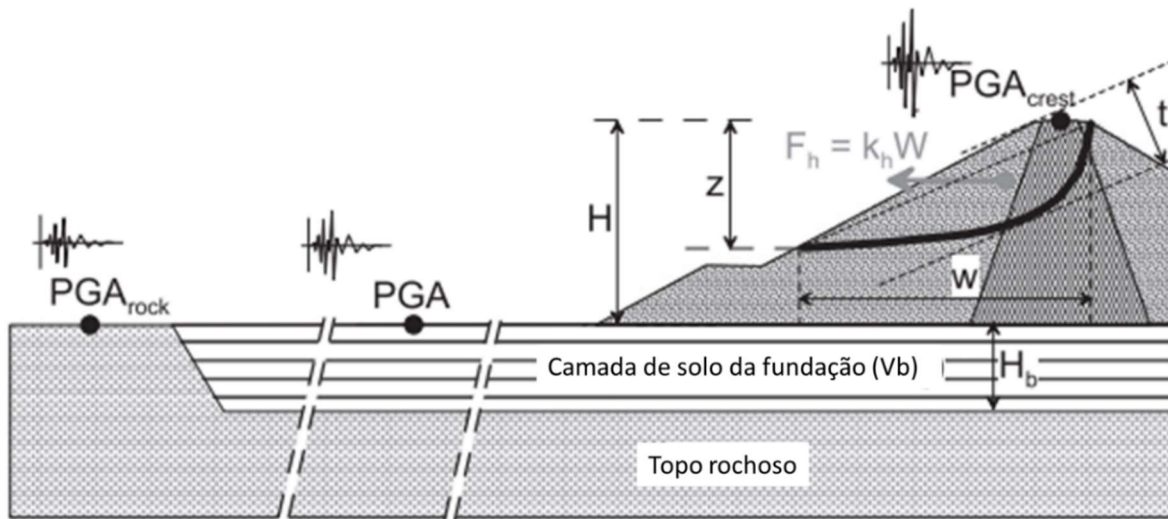


Figura 1. Esquema de parâmetros geométricos e acelerações considerados. Fonte: adaptado de Papadimitriou *et. al.* (2014).

3.1 Estimativa do Pico de Aceleração Sísmica no Solo (PGA) e do Período Fundamental da Ação Sísmica:

Este passo inicial tem por objetivo determinar a PGA, derivada da Aceleração de Pico Sísmico na rocha (PGA_{rock}), obtida por meio da Análise Probabilística de Ameaça Sísmica (PSHA). Adicionalmente, o PGA na fundação é influenciado pelo período fundamental da ação sísmica (T_e). Caso o PGA na camada de solo da fundação seja considerado no PSHA, o primeiro passo da metodologia pode ser iniciado a partir do item 3.2.

3.2 Estimativa do Período Fundamental Não Linear de Vibração da Barragem:

Nesta fase, busca-se dimensionar o período fundamental (T_e), o qual pode ser estimado através de correlações utilizando o Pico de Velocidade Máxima do Solo (PGV), considerando a frequência da excitação, conforme proposto por Fajfar *et al.* (1992). Para a análise do período fundamental não linear de vibração da camada de solo da fundação (T_0), são consideradas as condições da fundação da estrutura através da velocidade da onda cisalhante das camadas de solo da fundação (V_b). No caso de estruturas com camadas de solo sobre o topo rochoso, a metodologia considera a amplificação da PGA_{rock} devido à menor rigidez desse material em relação à rocha. Nos casos em que a estrutura está apoiada diretamente sobre o topo rochoso, o valor da PGA é considerado igual à PGA_{rock} .

3.3 Estimativa da Aceleração de Pico na Crista da Barragem (PGA_{crest}):

Esta etapa envolve o dimensionamento para determinação da PGA_{crest} , por meio de uma análise de atenuação e amplificação em relação ao valor de aceleração na base da estrutura e o período de vibração da estrutura determinado na etapa anterior da metodologia.

3.4 Estimativa do Coeficiente de Aceleração Sísmica Horizontal (k_{hmax}) com Base no PGA_{crest} :

Neste passo, calcula-se o coeficiente de aceleração sísmica horizontal máximo, observado na base da cunha de ruptura avaliada, com base em coeficientes que consideram as características geométricas da estrutura, superfície de ruptura e fundação e promovem uma atenuação do valor de PGA_{crest} até o ponto de apoio da massa deslocada pelo evento sísmico.

3.5 Estimativa do Coeficiente de Aceleração Sísmica Horizontal Efetivo (k_h) com Base no Deslocamento Tolerável:

Papadimitriou *et al.* (2014) enfatizam que a utilização de análises pseudoestáticas empregando o fator k_{hmax} seria excessivamente conservadora. Portanto, no último passo, sugere-se a adoção de um valor efetivo (k_{he}), como um percentual do valor máximo. O fator de escorregamento q (≥ 1) é correlacionado com os deslocamentos admissíveis (D_{all}) da estrutura em análise conforme demonstrado na Equação 1.

$$q = \frac{k_{hmax}}{k_{he}} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{-8}{\ln\left(\frac{D_{all}}{\left[\frac{v_{hmax}^2}{90 k_{hmax} g}\right]}\right)} (= q_{UB}), \text{ metodologia conservadora} \\ \frac{-9,4}{\ln\left(\frac{D_{all}}{\left[\frac{v_{hmax}^2}{37 k_{hmax} g}\right]}\right)} (= q_{AVE}), \text{ metodologia racional} \end{array} \right\} \geq 1 \quad (1)$$

Papadimitriou *et al.* (2014) recomendam a adoção de uma abordagem conservadora durante as etapas de projeto conceitual e básico, enquanto sugerem o uso de uma metodologia mais racional durante a etapa detalhada do projeto. No entanto, os autores do presente trabalho indicam a utilização da abordagem conservadora, especialmente quando a determinação do deslocamento tolerável não é derivada de uma análise de deslocamento permanente utilizando a metodologia desacoplada, metodologia essa que gera deslocamentos permanentes e não admissíveis. Além disso, os autores alertam que, segundo Papadimitriou *et al.* (2014), os deslocamentos toleráveis acima de 10 cm já seriam considerados elevados.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou a metodologia de Papadimitriou *et al.* (2014), detalhada no item anterior, para estimar o coeficiente de aceleração sísmica horizontal (k_h), utilizado nas análises pseudoestáticas. Assim, puderam ser avaliados os resultados de k_h , em 10 estruturas da mineração brasileira da região do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, com localizações próximas e características distintas, em função de deslocamento admissíveis (D_{all}) variados. As análises foram conduzidas em seções distintas da mesma estrutura, uma vez que a metodologia empregada varia de acordo com a geometria e superfície de ruptura, conforme discutido no item 3 do presente artigo, totalizando 17 análises. O PGA_{rock} utilizado foi de 0,175g com período de retorno de 10.000 anos para todas as estruturas.

A Tabela 2 apresenta as características variáveis de cada uma das estruturas analisadas como base para este estudo.

Tabela 2. Parâmetros utilizados nas análises pseudoestáticas para obtenção do k_h pela metodologia de Papadimitriou *et al.* (2014).

Estrutura	Seção	V_b	H_b	H	k_y	V_c	t	w	z	h
B _a)	1	700	26,43	15,99	0,210	350	5,75	38,13	15,33	6,06
B _a)	2	670	21,41	15,23	0,220	400	7,04	43,63	16,48	16,28
B _b)	1	400	15,05	12,12	0,150	250	8,93	36,72	11,8	08,25
B _b)	2	440	15,77	11,84	0,170	250	2,26	13,16	6,86	06,69
B _c)	-	280	10,00	16,30	0,270	200	13,8	91,30	16,48	14,61
B _d)	1	500	21,00	14,50	0,190	300	10,85	60,25	13,64	11,95
B _d)	2	500	18,00	14,50	0,340	300	2,12	13,16	06,51	06,51
B _e)	-	275	41,10	25,80	0,500	180	7,40	52,1	11,00	10,30
B _f)	-	280	27,50	104,00	0,190	200	28,00	282	100,00	100,00
B _g)	-	370	13,10	97,02	0,220	300	17,85	215,75	85,48	97,02
B _h)	1	370	20,00	74,00	0,006	373	37,00	180	48,00	44,00

B _h)	2	370	30,00	78,80	0,006	373	37,00	180	48,00	44,00
B _i)	-	400	5,30	31,80	0,370	300	11,01	99,552	31,80	30,74
B _j)	1	370	3,93	14,65	0,230	200	5,54	33,9	14,65	14,65
B _j)	2	370	16,00	20,85	0,210	200	6,18	35,54	15,02	15,02
B _j)	3	370	15,12	21,81	0,210	200	5,80	35	14,98	14,98
B _j)	4	370	11,2	20,03	0,20	200	5,25	32,12	14,94	14,94

Nomenclaturas da Tabela 2. V_b – Velocidade cisalhante na camada de solo (m/s); H_b – Espessura da camada de solo (m); H – Altura da estrutura (m); k_y – Coeficiente sísmico de escoamento (g); V_c – Velocidade cisalhante na cunha de ruptura (m/s); t – Espessura da superfície de ruptura (m); w – Projeção horizontal da superfície de ruptura (m); z – Profundidade da superfície de ruptura (m); h – Altura da superfície de ruptura (m)

5 RESULTADOS

Na Figura 2 estão expostos os resultados de k_h variando em função do deslocamento admissível (D_{all}) para todas as estruturas analisadas conforme descrito pela Tabela 2. A partir dos resultados obtidos, é notável que o coeficiente sísmico, obtido através da utilização da metodologia proposta por Papadimitriou *et al.* (2014) é influenciado pela seleção do deslocamento permanente admissível, sendo que, quanto menor o deslocamento tolerado pela estrutura, maior seu k_h .

Os autores deste estudo reconhecem a importância de avaliar tal constante de forma individualizada, a fim de estabelecer uma abordagem analítica racional que leve em consideração as particularidades de cada estrutura.

Estes sugerem que a determinação do deslocamento permanente admissível pode ser abordada por meio de três enfoques principais:

- Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite de Último (ELU) - Operacionalidade: Avaliação de parâmetros como borda livre, elevação do emboque do extravasor, entre outros.
- Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite de Último (ELU) - Funcionalidade da Drenagem Interna: Avaliação do deslocamento necessário para que as faixas granulométricas de drenos e transições se tornem ineficientes ou insuficientes, não atendendo critérios de filtro, assim como carreamento e colmatação.
- Estado Limite de Último (ELU) - Comportamento Mecânico do Material: Análise do deslocamento (vertical ou horizontal, escolhendo o mais restritivo) necessário para instabilizar o maciço.

A definição da abordagem a ser empregada depende diretamente de fatores como a superfície de ruptura, o dimensionamento da drenagem interna (considerando os materiais e espessuras das camadas utilizadas nas transições), a linha freática e o tipo de material sob análise.

Os autores ressaltam a importância de utilizar metodologias que adotam um deslocamento tolerável predefinido com cautela. É desaconselhável aplicá-las sem uma avaliação específica da estrutura em questão para determinar se o deslocamento imposto realmente satisfaz as condições da estrutura, conforme sugerido por Hynes-Griffin e Franklin (1984).

Ressalta-se que, quando comparadas as metodologias do tipo racional e conservadora, observa-se que, no presente estudo, a razão entre elas variou de 1,5 a 2,1, confirmando o exposto por Papadimitriou *et al.* (2014), o qual determinou que as razões podem variar de 1,3 a 2,0.

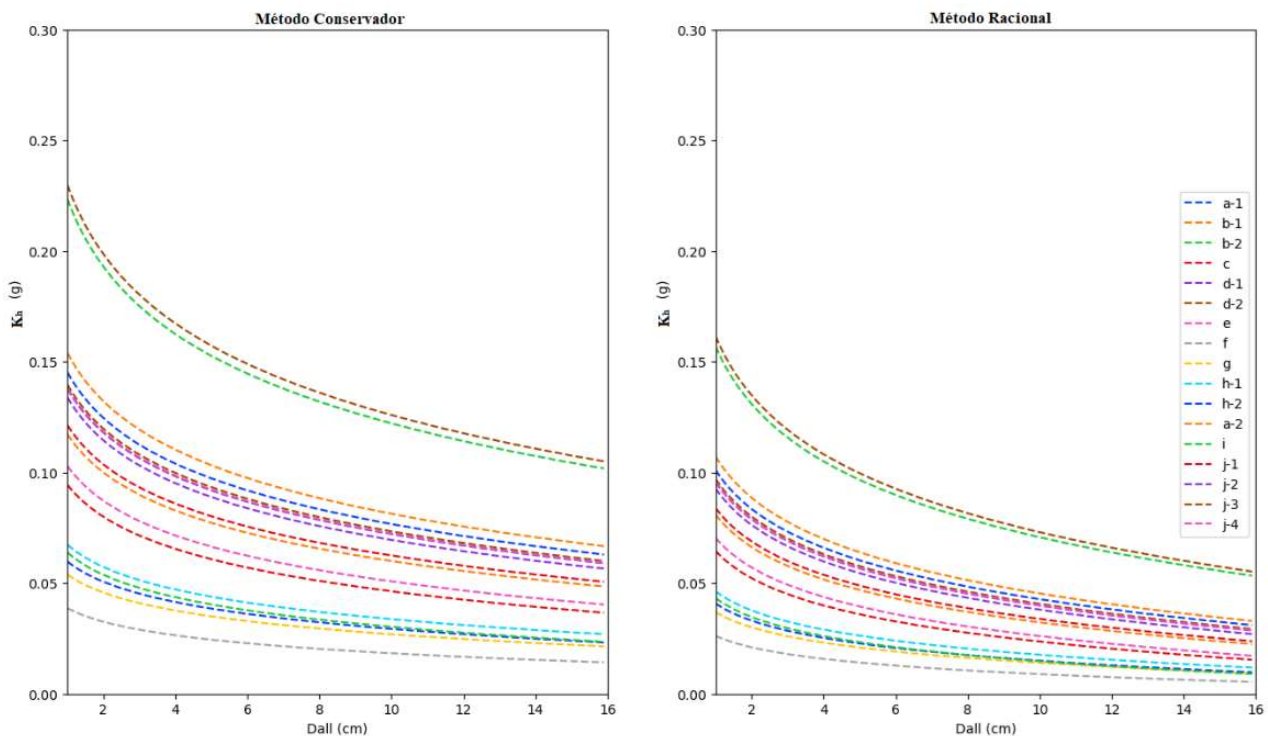


Figura 2. Estimativa do coeficiente de aceleração sísmica K_h pelos métodos racional e conservador propostos por Papadimitriou *et al.* (2014).

6 CONCLUSÃO

Observa-se que a metodologia delineada por Papadimitriou *et al.* (2014) constitui uma abordagem adequada para a avaliação do coeficiente de aceleração sísmica, embasada em uma análise robusta de dados, considerando uma curva de amplificação dos valores de aceleração até a determinação do pico de aceleração sísmica na crista da estrutura (PGA_{crest}), contemplando ainda a variabilidade do deslocamento tolerável, a influência da superfície de ruptura e aspectos geométricos da estrutura, incluindo a presença de bermas de equilíbrio e sua altura total.

A partir dos resultados obtidos percebeu-se que a definição de um D_{all} para estruturas é fator determinante na obtenção do k_h para a metodologia utilizada, assim, os autores deste estudo destacam a importância de avaliar tal constante de forma individualizada, a fim de estabelecer uma abordagem analítica racional que leve em consideração as particularidades de cada estrutura.

Além disso, a proposta engloba duas abordagens distintas, uma racional e outra conservadora, onde se estabelece um fator de segurança variável entre 1,3 a 2,0, dependendo do deslocamento admissível, evidenciando que a metodologia se adapta à estimativa deste deslocamento. Enfatiza-se que Papadimitriou *et al.* (2014) sugerem a aplicação de uma abordagem conservadora apenas nas fases iniciais do projeto, porém, os autores deste trabalho ressaltam a preferência pela abordagem conservadora, especialmente na ausência de uma análise de deslocamento permanente empregando a abordagem desacoplada.

Adicionalmente, os autores alertam que, conforme destacado por Papadimitriou *et al.* (2014), deslocamentos toleráveis acima de 10 cm são considerados elevados. A utilização de valores superiores deve ser precedida por uma análise rigorosa das incertezas e das condições específicas do projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos pelo apoio dado no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 13028. *Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos*
- Bray, J. D., Rathje, E. M., Augello, A. J., and Merry, S. M. (1998). *Simplified seismic design procedure for geosynthetic-lined, solid-waste landfills*, Geosynthetics International, 5(1–2), 203–235.
- Bray, J., and Travasarou, T. (2009). *Pseudostatic coefficient for use in simplified seismic slope stability evaluation*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(9), 1336–1340.
- Bray, J. D., Macedo, J. (2019). “*Shear-induced seismic slope displacement estimates for shallow crustal earthquakes*”. International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).
- Cruz, F. V. A. S., Faria, L. G., Matarazo, F. Y., Reis, C. J., Sousa Filho, M. J. (2022). *Estimativa de Pico de Aceleração Sísmica para Barragens Brasileiras, com extrapolação conforme Eurocode 8*. COBRAE - VIII CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS.
- Cruz, F. V. A. S., Sant’Ana, G. O., Secco, M. P. (2024). *A Importância da Avaliação Sísmica no Brasil*. Publicação no LinkedIn
- Cruz, F. V. A. S., Sant’Ana, G. O., Secco, M. P., Queiroga, V. R. F. (2024). *About Seismic Acceleration Coefficient for Pseudo-Static Analyses*. TAILINGS – 10th International Conference on Tailings Management.
- Duncan, SG Wright, TL Brandon – 2014. *Soil Strength and Slope Stability*, 2nd ed., Wiley, Hoboken, New Jersey, USA.
- Fajfar P, Vidic T, Fischinger M. – 1992. *On energy demand and supply in SDOF systems*, Fajfar P, Krawinkler H, editors. Nonlinear seismic analysis of RC buildings. Amsterdam: Elsevier.
- Hynes-Griffin M. E., Franklin A. G. (1984), “*Rationalizing the seismic coeficiente method*”, Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, (1984), PO Box 631, Vicksburg, Mississippi 391.
- Kavazanjian, E., Jr., Matasovic, N., Hadj-Hamou, T., and Sabatini, P. J. (1997). *Geotechnical Engineering Circular #3, Design Guidance: Geotechnical Earthquake Engineering for Highways, Vol. 1, Design Principles*, Publication No. FHWA-SA-97-076, Federal Highway Administration, U.S. Dept. of Transportation, Washington, DC.
- Papadimitriou, Achilleas & Bouckovalas, George & Andrianopoulos, Konstantinos (2014), “*Methodology for estimating seismic coefficients for performance-based design of earthdams and tall embankments*”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering.
- Seed, H. B. (1979). *Considerations in the earthquake-resistant design of earth and rockfill dams*, Nineteenth Rankine Lecture, Géotechnique, 29(3), Sept., 215–263.