XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XII Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia (CLBG)
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.1/28

CÁLCULO DO ÍNDICE DE SEGURANÇA DAS BARRAGENS AUXILIARES DO COMPLEXO OITICICA NO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

Iego Angelim Freire Agra
Eng. Civil, Quanta Consultoria, Fortaleza, Brasil, iegoagraa@gmail.com

Antônio Italcy de Oliveira Júnior
Eng. Civil Geotécnico, Quanta Consultoria, Fortaleza, Brasil, antonioitalcy@hotmail.com

Rui Santigo de Sousa
Eng. de Fortificação e Construção, Quanta Consultoria, Fortaleza, Brasil,
rui.santiago@quantaconsultoria.com

Isabella Vieira Santos
Eng. Sanitarista, Quanta Consultoria, Fortaleza, Brasil, isabellavieirasantos@gmail.com

RESUMO: Este trabalho calcula o índice de segurança das Barragens Auxiliares I e II do complexo Oiticica (RN), aplicando o método USACE. A análise avaliou individualmente os aspectos estruturais e operacionais de cada estrutura para classificar suas condições de segurança. Os resultados indicaram um Índice de Condição (IC) de 35,32% para a Auxiliar I (terra homogênea) e 36,32% para a Auxiliar II (enrocamento com núcleo), classificando ambas na Zona 3 (faixa vermelha), condição "Pobre". Tais resultados, de caráter conservador, destacam a influência do tipo de material na pontuação e reforçam a importância do monitoramento contínuo destas estruturas críticas para a segurança global do empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança de Barragens, Potencial de Perigo, Índice de Condição, Barragens Auxiliares, Método USACE..

ABSTRACT: This study calculates the safety index of the Auxiliary Dams I and II of the Oiticica complex (RN), applying the USACE method. The analysis individually assessed the structural and operational aspects of each structure to classify their safety conditions. The results indicated a Condition Index (CI) of 35.32% for Auxiliary I (homogeneous earth) and 36.32% for Auxiliary II (rockfill with core), classifying both in Zone 3 (red band), "Poor" condition. Such results, of a conservative nature, highlight the influence of the material type on the score and reinforce the importance of continuous monitoring of these critical structures for the overall safety of the project.

KEYWORDS: Palavras chaves em inglês seguindo as mesmas regras da versão em português

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecida pela Lei Federal nº 12.334 de 2010, define o marco regulatório para a gestão e fiscalização dessas estruturas no Brasil. A segurança, nesse âmbito, é alcançada pelo atendimento a rigorosos critérios de projeto, execução e manutenção, garantindo a operação correta da barragem e considerando o potencial de dano associado a uma hipotética ruptura. As informações sobre as condições de cada estrutura são consolidadas no Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens (SNISB), uma ferramenta crucial para a gestão de riscos em escala nacional.

Na região semiárida do Nordeste, onde os reservatórios são essenciais para o abastecimento hídrico, a regularização dessas estruturas frente às diretrizes da PNSB é uma demanda urgente. Nesse cenário, a

Barragem Oiticica, localizada no rio Piranhas-Açu (RN), destaca-se por sua importância estratégica para a segurança hídrica do estado. Projetada para múltiplos fins, como a regularização de vazão, o controle de

cheias e a integração com o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), a estrutura é oficialmente classificada como de Risco Médio e Dano Potencial Associado Alto, o que reforça a necessidade de estudos contínuos sobre suas condições de segurança.

Para avaliar tais condições, a literatura apresenta diversos métodos de cálculo do índice de segurança (Rambo, 2020). Dentre eles, destaca-se o método USACE, descrito por Silva (2017), cuja metodologia se notabiliza pela fácil aplicação, sendo viável mesmo em barragens com dados limitados.
Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo calcular o índice de segurança da Barragem Oiticica, aplicando o método USACE para demonstrar seu uso na avaliação de segurança da referida estrutura.

2 FORMATOS ESPECÍFICOS

2.1 Caracterização da Barragem Oiticica

A Barragem Oiticica está localizada no Rio Piranhas – Açu, no município de Jucurutu, Rio Grande do Norte, com coordenadas geográficas aproximadas de Latitude 6° 9'13.88"S e Longitude 37° 7'26.26"O. A montante, encontra-se a barragem Coremas – Mãe d'Água (aproximadamente 200 km), e a jusante, a barragem Armando Ribeiro Gonçalves (aproximadamente 63 km). A barragem principal é do tipo maciço de concreto compactado a rolo (CCR), com altura máxima acima da fundação de 51,75 m e largura do coroamento de 7 m. Sua capacidade de armazenamento é de aproximadamente 500 hm³. A fundação é em rocha, e a barragem possui um sistema de instrumentação e monitoramento detalhado, incluindo piezômetros e medidores de vazão, indicando um sistema de filtração moderno. A construção da barragem foi concluída em 2020.

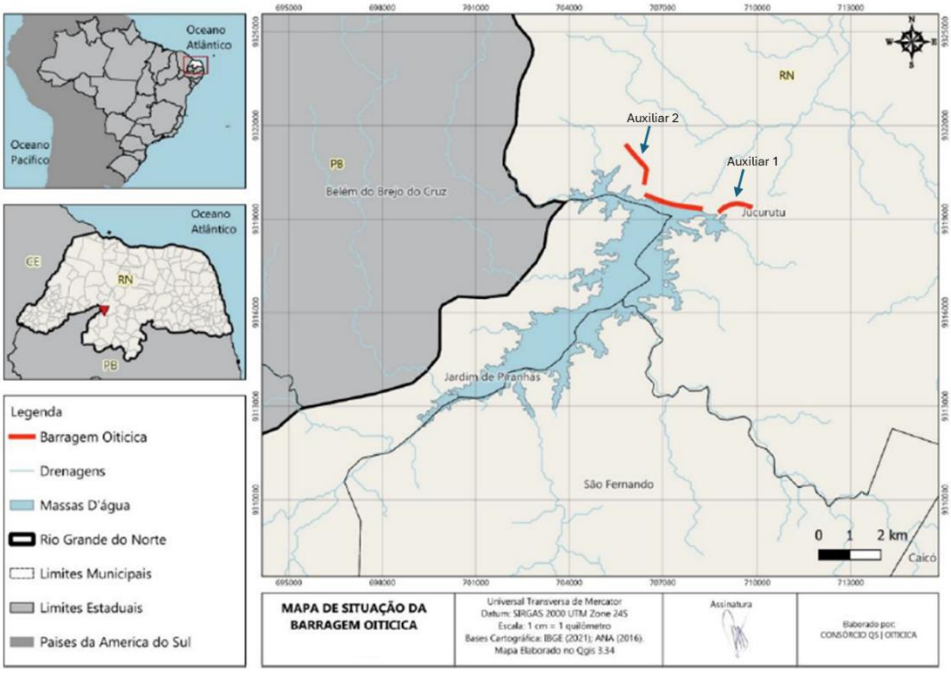


Figura 1. Localização da barragem de Oiticica

2.2 DADOS DAS BARRAGENS AUXILIARES

O complexo da Barragem Oiticica é composto, além da estrutura principal, por duas barragens auxiliares, que são o objeto de estudo deste trabalho. Essas estruturas são críticas para a contenção do volume total do reservatório. A seguir, são detalhadas as principais características de cada uma delas, conforme o Plano de Segurança da Barragem (PSB) do empreendimento.

Barragem Auxiliar I

A Barragem Auxiliar I consiste em um maciço de terra do tipo homogêneo, compreendido entre as estacas 118+11,86 m e 174+20 m, totalizando uma extensão de 1.220,70 m. A estrutura possui uma altura máxima de 12,80 m acima da fundação e um coroamento com 7,00 m de largura, localizado na cota 119,80 m. Os taludes, tanto de montante quanto de jusante, apresentam inclinação de 2(H):1(V).

Tabela 1 - Características

Característica	Descrição
Tipo	Terra Homogênea
Altura máxima acima da fundação	12,80 m
Cota do coroamento	119,80 m
Comprimento do coroamento	1.220,70 m
Largura do coroamento	7,00 m
Inclinação do talude de montante	2(H):1(V)
Inclinação do talude de jusante	2(H):1(V)

Fonte: PSB de Oiticica, 2024.

Barragem Auxiliar II

A Barragem Auxiliar II é um maciço de enrocamento com uma extensão total de 1.275,00 metros. Sua seção é do tipo zoneada, composta por enrocamento compactado, filtros de transição e um núcleo argiloso. A estrutura atinge uma altura máxima de 13,70 m, com um coroamento mais estreito, de 5,00 m de largura, também na cota 119,80 m. Os taludes de montante e jusante seguem a mesma inclinação da Auxiliar I, de 2(H):1(V).

Tabela 2 - Características e Descrições da Barragem Auxiliar II

Característica	Descrição
Tipo	Zoneada com enrocamento compactado, transições e núcleo argiloso
Altura máxima acima da fundação	13,70 m
Cota do coroamento	119,80 m
Comprimento do coroamento	1.275,00 m
Largura do coroamento	5,00 m
Inclinação do talude de montante	2(H):1(V)
Inclinação do talude de jusante	2(H):1(V)

Fonte: PSB de Oiticica, 2024.

2.3. Método USACE para Cálculo do Índice de Segurança

Para o cálculo do índice de segurança da Barragem Oiticica, foi utilizado o método USACE baseia-se em uma metodologia desenvolvida pela organização canadense Hydro-Quebec. O índice de segurança de barragem obtido é avaliado a partir do conceito de índice de condição da barragem (IC), que é obtido subtraindo o valor de S de 1 e multiplicando o resultado por 100 para se obter uma porcentagem (IC = (1 – S) * 100) (SILVA,

2017). Para medir as condições operacionais o IC é classificado por intervalos que variam de 0 a 100, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação do índice de condições

Zona	Faixa de IC (IC= 1-S)	Descrição da Condição
1	85 a 100	Excelente: Sem defeitos visíveis. Algum envelhecimento ou desgaste pode ser visível.
	70 a 84	Bom: Somente pequenas deteriorações ou defeitos são evidentes.
2	55 a 69	Razoável: Algumas deteriorações ou defeitos são evidentes, mas a função não é significativamente afetada.
	40 a 54	Marginal: Deterioração moderada, mas a função ainda é adequada.
3	25 a 39	Pobre: Deterioração grave em pelo menos algumas porções da estrutura. A função é inadequada.
	10 a 24	Muito Pobre: Deterioração extensa, mal funcional.
	0 a 9	Falha: Não mais funções, falha geral ou falha completa de um componente estrutural principal.

Fonte: Peyras et al. (2011).

Cálculo do Escore Global (S)

$$S = \frac{V+3C}{50} \qquad \text{Eq.1}$$

A vulnerabilidade (V) da barragem é determinada pela soma aritmética da média dos escores das constantes físicas (A) e da média aritmética dos escores da soma dos parâmetros das variáveis (B), conforme ilustrado na Equação (2).

Cálculo da Vulnerabilidade (V)

A determinação da Vulnerabilidade (V) é efetuada por meio da média aritmética entre o escore das condições físicas (A) e o escore dos parâmetros variáveis (B), conforme a seguinte expressão:

$$V = \bar{A} + \bar{B} \qquad \text{Eq.2}$$

Onde $\bar{A}$ e $\bar{B}$ representam as médias dos respectivos conjuntos de escores.
As pontuações para cada um dos parâmetros são obtidas a partir das tabelas de escores, que consideram as condições físicas (Tabela 1), os parâmetros variáveis (Tabela 2) e o potencial de perigo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Resultados do Método USACE

A aplicação do método USACE foi realizada de forma individualizada para as Barragens Auxiliares I e II, utilizando as características técnicas de cada estrutura, detalhadas na seção de metodologia. Os parâmetros relacionados ao reservatório (idade, sismicidade, nível de operação) e ao potencial de perigo foram

considerados idênticos para ambas, uma vez que estão submetidas às mesmas condições operacionais e de risco.

3.2. Resultados da Barragem Auxiliar I

Para a Barragem Auxiliar I, do tipo terra homogênea, a análise resultou nos escores apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**. O principal fator que influenciou a pontuação das condições físicas foi o tipo de material (A3), que, por ser "Terra", recebe o escore máximo de 10 na metodologia.

Tabela 3 - Escores do método USACE para a Barragem Auxiliar I

Condições Físicas	Escore	Parâmetros Variáveis	Escore
A1 = (Altura = 12.80 m)	3	B1 = (Idade = 5 Anos)	7
A2 = (Largura = 7 m)	3	B2 = (Altura Hidráulica máx. >95%)	1
A3 = (Tipo = Terra)	10	B3 = (Sismicidade = Moderada)	2
A4 = (Fundação = Solo)	4	B4 = (Confiabilidade do vertedouro = Satisfatório)	1
A5 = (Capacidade = 598.6 hm³)	4	B5 = (Monitoramento = Presença diária)	4
A6 = (Filtração = Com drenos)	1	B6 = (Altura Normal > 75%)	10
Média(A)	4.17	**Média(B)**	4.17

Fonte: Fontenelle (2007).

3.3. Resultados da Barragem Auxiliar II

A Barragem Auxiliar II, do tipo enrocamento com núcleo argiloso, teve uma pontuação de condições físicas mais favorável. Seu tipo construtivo (A3), classificado como "Terra e Enrocamento", recebe um escore de 4, consideravelmente menor que o da Auxiliar I. No entanto, sua menor largura de coroamento (A2) resultou em um escore mais alto para esse parâmetro. Os resultados estão na Tabela *4*.

Tabela 4 - Escores do método USACE para a Barragem Auxiliar II

Condições Físicas	**Escore**	**Parâmetros Variáveis**	**Escore**
A1 = (Altura = 13.70 m)	3	B1 = (Idade = 5 Anos)	7
A2 = (Largura = 5 m)	6	B2 = (Altura Hidráulica máx. >95%)	1
A3 = (Tipo = Terra e Enrocamento)	4	B3 = (Sismicidade = Moderada)	2
A4 = (Fundação = Solo)	4	B4 = (Confiabilidade do vertedouro = Satisfatório)	1
A5 = (Capacidade = 598.6 hm³)	4	B5 = (Monitoramento = Presença diária)	4
A6 = (Filtração = Com drenos)	1	B6 = (Altura Normal > 75%)	10

Condições Físicas	Escore	Parâmetros Variáveis	Escore
Média(A)	**3.67**	**Média(B)**	**4.17**

Fonte: Fontenelle (2007).

Para a determinação do escore do potencial de perigo (parâmetro C), que considera os danos a propriedades e perdas de vidas em um cenário de ruptura, foi levada em conta a classificação de Dano Potencial Associado (DPA) como "Alto", conforme estabelecido no Plano de Segurança da Barragem (PSB) de Oiticica. Esta classificação se justifica pela proximidade de áreas urbanas e rurais desenvolvidas, como o município de Jucurutu, que seriam diretamente atingidas. Diante disso, foi atribuído um valor de 8 escores para o parâmetro C.

Ao aplicar todos os parâmetros nas equações do método, obteve-se um Índice de Condição (IC) de 37,32% para a Barragem de Oiticica, conforme detalhado na Tabela 3.

Tabela 5 - Resumo dos parâmetros e cálculo do Índice de Condição (IC) para a Barragem Auxiliar I

Parâmetro	Valor
V	8.34
C	8
S	0.6468
IC	35.32%

Fonte: PSB de Oiticica, 2024.

Tabela 6 - Resumo dos parâmetros e cálculo do Índice de Condição (IC) para a Barragem Auxiliar II

Parâmetro	Valor
V	7.84
C	8
S	0.6368
IC	36.32%

Fonte: PSB de Oiticica, 2024.

Os resultados indicam que ambas as barragens auxiliares se enquadram na faixa de maior atenção do método USACE. Essa classificação, no entanto, não implica necessariamente uma condição de falha iminente, mas reflete a natureza conservadora da metodologia, que atribui pontuações elevadas a características intrínsecas de barragens de terra e enrocamento.

A principal diferença entre as duas estruturas reside na pontuação do tipo de material (A3). A Auxiliar I, por ser de terra homogênea, foi mais penalizada, o que resultou em um IC ligeiramente inferior. Em contrapartida, a menor largura do coroamento da Auxiliar II elevou seu escore no parâmetro A2, equilibrando o resultado final.

É fundamental destacar que os parâmetros de maior peso na análise o Potencial de Perigo (C = 8) e a Altura Normal do Reservatório (B6 = 10), são definidos pelo reservatório único e sua operação, impactando ambas as estruturas de forma igualitária. Isso demonstra que, independentemente de suas características construtivas individuais, as barragens auxiliares estão submetidas a um alto nível de risco devido ao grande volume de água que ajudam a conter.

Importa destacar que a denominação qualitativa "Pobre", atribuída pela escala adaptada de Peyras et al. (2011) (Quadro 1), utiliza redação originalmente associada a defeitos físicos identificados por inspeção (e.g.,

"deterioração grave", "função inadequada"). Neste estudo, esse rótulo deve ser interpretado como a denominação oficial da faixa numérica do Índice de Condição (Zona 3, IC entre 25% e 39%) obtida pela aplicação do método, e não como o relato de uma deterioração física efetivamente constatada em campo, uma vez que, conforme exposto na metodologia, não foi realizada inspeção visual ou análise de instrumentação como parte deste trabalho.

A decomposição dos escores (Tabelas 6 e 7) confirma essa leitura: a classificação obtida decorre, principalmente, de características tipológicas e geométricas de projeto, como o tipo construtivo (A3) e a relação altura/largura do coroamento (A1 e A2), que penalizam estruturalmente barragens de terra e enrocamento independentemente de seu estado de conservação, e do elevado Potencial de Perigo a jusante (C = 8), associado à ocupação urbana e rural do município de Jucurutu, um fator de exposição ao risco e não de condição física da estrutura. Reforça essa interpretação o fato de a Barragem Oiticica ser um empreendimento recente (concluído em 2020), submetido a monitoramento diário (B5) e operando com vertedouro classificado como satisfatório (B4), atributos típicos de uma estrutura bem mantida, e não de uma estrutura com deterioração grave.

Dessa forma, a classificação "Pobre" deve ser entendida como um indicativo da vulnerabilidade estrutural intrínseca e do elevado potencial de dano associado ao reservatório, refletindo a natureza conservadora do método USACE/Hydro-Quebec para barragens de terra e enrocamento, e não como um diagnóstico de patologias físicas observadas. Recomenda-se, como desdobramento deste estudo, a realização de inspeções visuais sistemáticas e a análise dos dados de instrumentação (piezômetros, medidores de vazão e indicadores de nível) já operados no âmbito do PSB, de modo a confirmar ou refutar, com base em evidências de campo, a condição indicada pelo índice paramétrico aqui calculado.

Portanto, a classificação como "Pobre" pelo método USACE valida e reforça a classificação oficial do complexo, que, segundo seu Plano de Segurança, possui Dano Potencial Associado (DPA) Alto. O resultado corrobora a importância da existência e da aplicação rigorosa de um Plano de Segurança de Barragem, com monitoramento contínuo e inspeções regulares, para garantir a segurança global do empreendimento e das comunidades a jusante.

5 REFERÊNCIAS

[1] AGUIAR, D.P. O; FAIS, L.M.C.F.; GENOVEZ, A.I.B; DALFRE FILHO, J.G. (2015). “Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 20(2), pp. 360-368.

[2] RAMBO, L. H. Avaliação da segurança da barragem labourrie/ap à luz de diferentes metodologias. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará.

[3] SILVA, M. L. ‘’O Território Imaginado’’: Amapá, de Território a Autonomia Política (1943-1988). f. 380 Tese (Doutorado em História) - Programa de Pós-Graduação em História. Universidade de Brasília – UNB, DF, 2017.

[4] TSCHIEDEL, A.F.; PAIVA, R.C.D. “Uncertainty assessment in hydrodynamic modeling of floods generated by dam break” (2018). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 23 (e30).

PEYRAS, L.; GERVAIS, R.; SERRE, D.; CHOUINARD, L.; DIAB, Y.; TOURMENT, R. (2011). Condition evaluation of water retaining structures by a functional approach. Comparative practices in canada and France. European Journal of Civil and Environmental Engineering, 15, 335-356.

FONTENELLE, Alexandre de Sousa. Proposta metodológica de avaliação de riscos em barragens do nordeste brasileiro-estudo de caso: barragens do estado do Ceará. 2007.