

BARRAGEM DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO

ROCKFILL BARRAGE WITH CONCRETE FACE

Bernardo de Freitas Mello Cunha¹

Lucas de Souza Rego²

Claudio Bonfante de Oliveira³

Adauri Silveira Rodrigues Júnior⁴

RESUMO: O presente trabalho discute a utilização crescente das barragens de enrocamento no Brasil nas últimas décadas, com foco na barragem de enrocamento com face de concreto (BEFC). Sendo abordadas suas características, métodos de aplicação e resultados práticos. A construção de barragens é uma prática milenar, com registros históricos que datam de cerca de 50 séculos. A barragem de enrocamento com face de concreto (BEFC), estabelecida no século XIX na Califórnia, se tornou conhecida no Brasil nas últimas décadas devido à sua eficiência e viabilidade econômica, como por exemplo a barragem de Foz do Areia. Este tipo de barragem é conhecido por combinar rochas e placas de concreto, oferecendo então, resistência à erosão, versatilidade e durabilidade. Pesquisas sobre as características mecânicas das BEFCs indicam que a deformação e a compressibilidade durante e após a construção podem levar a deslocamentos diferenciais, o que demanda cuidados no projeto e nas etapas construtivas para evitar o aparecimento de fissuras e possíveis vazamentos. Esse tipo de barragem também se destaca por ser vantajoso em áreas como a geração de energia, controle de enchentes e armazenamento de água. No Brasil, a adoção de normas e legislações específicas visam garantir a segurança e a sustentabilidade na construção e operação dessas barragens.

6350

Palavras-chaves: Barragem de enrocamento. Características mecânicas. Segurança e sustentabilidade.

ABSTRACT: This work discusses the increasing use of rock-fill dams in Brazil in recent decades, focusing on the concrete-faced rock-fill dam (BEFC). Its characteristics, application methods and practical results are discussed. The construction of dams is an ancient practice, with historical records dating back around 50 centuries. The concrete-faced rockfill dam (BEFC), established in the 19th century in California, has become known in Brazil in recent decades due to its efficiency and economic viability, such as the Foz do Areia dam. This type of dam is known for combining rocks and concrete plates, thus offering resistance to erosion, versatility and durability. Research on the mechanical characteristics of BEFCs indicates that deformation and compressibility during and after construction can lead to differential displacements, which requires care in the design and construction stages to avoid the appearance of cracks and possible leaks. This type of dam also stands out for being advantageous in areas such as energy generation, flood control and water storage. In Brazil, the adoption of specific standards and legislation aims to guarantee safety and sustainability in the construction and operation of these dams.

Keywords: Rockfill dam. Mechanical characteristics. Security and sustainability.

¹Graduando em Engenharia Civil. Universidade de Vassouras.

²Graduando de Engenharia Civil. Universidade de Vassouras.

³Mestrado Profissional em Gestão de Sistemas de Engenharias. Universidade de Vassouras.

⁴Mestrado Profissional em Gestão de Sistemas de Engenharias. Universidade de Vassouras.

1- INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das barragens de enrocamento com face de concreto (BEFCs) teve um grande impulso a partir do início da década de 1970. O progresso no projeto e na construção de barragens de médio e grande portes (acima de 150 m) a partir dessa década deve-se, em parte, à aplicação dessa tecnologia.

A engenharia nos últimos 250 anos apresenta uma crescente evolução, porém, ainda não se encontra definido um modelo específico de barragem que pode ser concluído como o padrão. A determinação da tecnologia está diretamente conectada aos fatores e regras do projeto, disponibilidade financeira e viabilidade ambiental.

A evolução dos equipamentos, a criação de sistemas computacionais e os avanços na investigação e pesquisa permitem compreender melhor o comportamento desses materiais. No entanto, o surgimento de problemas relacionados com a deformação realça a necessidade de mais progressos e investigações.

A utilização de barragens com face de concreto no Brasil iniciou com a elaboração da barragem de Foz do Areia, realizada entre 1975 e 1980. A partir desse momento este tipo de construção apresentou alta competitividade econômica e técnica. Razões pelas quais se configurou como principal estrutura adotada na maioria dos novos projetos, com grande destaque para a região sul do país, onde as características de solo e relevo da localidade demonstraram excelente qualidade e compatibilidade para utilização da barragem de enrocamento com face de concreto (BEFC).

As BEFCs apresentam suas definições e características básicas. Massad (2003) afirma que esse tipo de barragem utiliza placas de concreto posicionadas sobre o talude de montante, funcionando como uma parede impermeável da barragem. Para Massad (2003), o grande benefício desse modelo de construção está em seu cronograma construtivo. Composto por placas de concreto e aterro em enrocamento, a construção torna-se independente do clima, reduzindo os atrasos envolvendo a conclusão do cronograma.

Apesar da estabilidade dos maciços da barragem de enrocamento com face de concreto, são apresentados com compressibilidade em sua etapa construtiva, de preenchimento do reservatório e na fase de execução (pós-construtivo). As alterações ocorridas nessas etapas, principalmente na fase de preenchimento do reservatório, são responsáveis pelos deslocamentos diferenciais nas variadas zonas de enrocamento, originando movimentações significativas na

superfície do montante e posteriores surgimentos de rachadura e abertura das ligações na laje de concreto. Para eliminar significativos vazamentos através dos maciços, as lajes e os constituintes da fundação necessitam ter aspectos geométricos e estruturais qualificados para produzir movimentações, evitando o colapso ou fissuramento em qualquer localidade da estrutura.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A definição de enrocamento mudou durante o passar dos anos em função do acúmulo de experiências e novos requisitos na sua construção. Por exemplo no decurso desta evolução foi mencionado que nas primeiras barragens produzidas com este método, o enrocamento era apenas projetado. Atualmente, os aterros de enrocamento são geralmente compactados por rolos vibratórios pretendendo atingir uma melhor consistência e, portanto, maiores valores de rigidez e resistência do maciço.

As BTEs (barragens de terra e enrocamento) são representadas como uma estrutura construída no leito de um rio, permitindo acumular água. Podendo ser de terra, enrocamento, alvenaria ou concreto.

BTEs têm sido construídas desde a remota Antiguidade. As mais antigas de que se tem conhecimento foram construídas há cerca de 4.000 a.C. no Oriente Médio (SANDRONI, et al. 2022, p. 6).

6352

Figura 1 - Barragem Santurnino de Brito, 1933.



Fonte: BARRAGENS DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO 2ª edição|revista e atualizada - Paulo T. Cruz, Bayardo Materón, Manoel Freitas.

A expressão enrocamento corresponde ao termo “rockfill” em inglês e “enrochement” em francês. Segundo o dicionário Aurélio, uma descrição bem simples de enrocamento, ou seja, uma definição não técnica, seria: “um maciço de pedras para proteger aterros ou estruturas contra a erosão”.

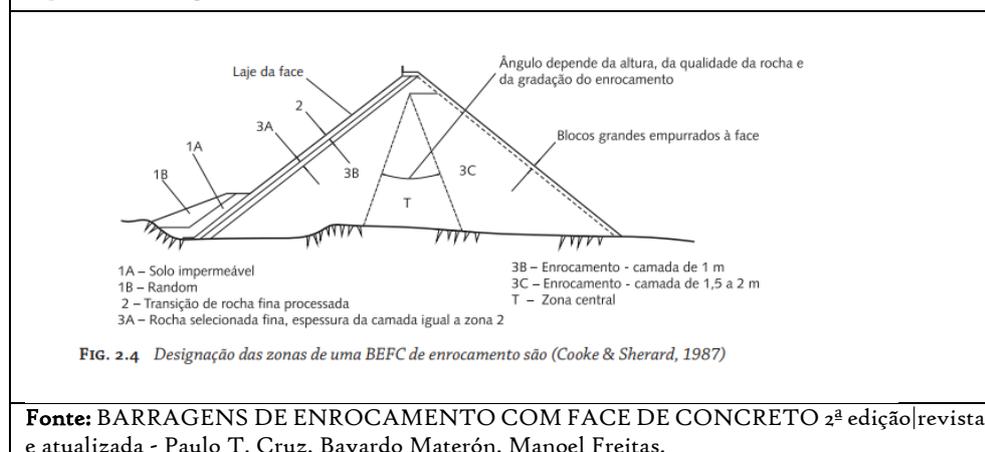
Terzaghi e Peck (1967) classificam o enrocamento como um material fragmentado, derivado de rocha sã, com partículas pesando entre 13kg e 18t.

Enrocamento é um material que, quando submetido a alteração de tensão, ocorre uma transformação estrutural devido a deslocamento, rotação e as partículas se quebrarem. Tendo em conta estas alterações e o seu impacto nas características de deformação e resistência, é necessário estudar a sua distribuição de forças e os princípios da quebra de partículas (Marsal, 1973).

3- MATERIAIS E MÉTODOS

As barragens desempenham um papel crucial na gestão de recursos hídricos em todo o mundo, fornecendo água potável, controle de enchentes e energia hidrelétrica. Entre os diversos tipos de barragens, as barragens de enrocamento com face de concreto têm se destacado como uma escolha eficaz para atender às demandas de engenharia hidráulica moderna. Essas estruturas engenhosas combinam o uso de rochas naturais e concreto armado para criar barreiras altamente resistentes e versáteis. Neste artigo, exploraremos os princípios de design, benefícios e aplicações das barragens de enrocamento com face de concreto.

Figura 02 – Designação das zonas de uma BEFC de enrocamento são (Cooke & Sherard, 1987).



As barragens de enrocamento com face de concreto são caracterizadas por uma combinação única de materiais que se complementam. Os princípios de design incluem:

Enrocamento

A parte principal da barragem é composta por pedras naturais, geralmente grandes blocos ou seixos, chamados de enrocamento. Essas pedras são empilhadas cuidadosamente em camadas para criar uma barreira resistente. O enrocamento é escolhido com base em sua capacidade de resistir à erosão e à pressão da água.

Face de Concreto

A face de concreto é construída na parte a montante (a parte em que a água se acumula) da barragem de enrocamento. O concreto é usado para fornecer uma superfície impermeável que impede a infiltração de água e protege o enrocamento subjacente contra desgaste e erosão.

Drenagem Interna

Um sistema de drenagem interno é incorporado à barragem para garantir que a água que penetra nas camadas de enrocamento seja conduzida de maneira controlada através de canais e drenos, mantendo a estabilidade da estrutura.

6354

Benefícios das Barragens de Enrocamento com Face de Concreto:

Resistência à Erosão

A combinação de enrocamento e concreto cria uma barreira altamente resistente à erosão causada pelo fluxo de água, tornando essas barragens ideais para locais com fortes correntes ou alta sedimentação.

Versatilidade

As barragens de enrocamento com face de concreto podem ser adaptadas para atender a uma variedade de necessidades, desde pequenas represas até grandes barragens hidrelétricas. Elas são frequentemente utilizadas para criar reservatórios, controlar enchentes e fornecer água potável.

Durabilidade

Quando projetadas e construídas corretamente, essas barragens têm uma vida útil longa e exigem menos manutenção em comparação com outros tipos de barragens.

Eficiência Energética

Barragens de enrocamento com face de concreto são frequentemente usadas em projetos hidrelétricos devido à sua capacidade de criar grandes reservatórios e controlar o fluxo de água para gerar energia.

3.1- APLICAÇÕES

As barragens de enrocamento com face de concreto são utilizadas em uma variedade de aplicações em todo o mundo.

Geração de Energia

Elas são frequentemente usadas em usinas hidrelétricas para criar reservatórios e controlar o fluxo de água para as turbinas geradoras de energia.

Armazenamento de Água

São utilizadas para criar reservatórios de água para abastecimento público, irrigação agrícola e indústrias.

Controle de Enchentes

Barragens de enrocamento com face de concreto são empregadas em locais propensos a enchentes para controlar o fluxo de água e reduzir os impactos das inundações.

Recreação

Em algumas áreas, essas barragens também são usadas para criar lagos de recreação, oferecendo oportunidades para atividades aquáticas e turismo.

3.2- NORMATIVAS PARA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS

Para a utilização de barragens na construção civil, é necessário a utilização de normas brasileiras conhecidas como as NBR's. Essas normas desenvolvidas pela ABNT têm como objetivo a padronização dos processos de produção e serviços no Brasil. Para a construção de

barragens utilizamos a NBR 13028:2017, esta norma especifica os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de barragens de mineração, incluindo as barragens para disposição de rejeitos de beneficiamento, contenção de sedimentos gerados por erosão e reservação de água em mineração, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente.

Legislação para barragens

Para a construção de barragens, assim como a utilização de normas é também necessário o respeito de algumas leis. Estas leis são implementadas para garantir a observância de padrões de segurança de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas conseqüências.

A LEI Nº 12.334, DE 20 DE SETEMBRO DE 2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 40 da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000.

Enquanto a LEI Nº 14.066, DE 30 DE SETEMBRO DE 2020 altera dispositivos da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos 2010 , que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), da Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989 , que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), da Lei nº Hídricos, e do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).

6356

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a oportunidade de participação em programas de pesquisas disponibilizados e aplicados pela Universidade de Vassouras, com propostas na área de barragens. Iniciamos pesquisas especificamente sobre as barragens de enrocamento.

A cooperação possibilitou a elaboração deste trabalho, com os objetivos apresentados abaixo:

As aplicações possíveis da barragem de enrocamento com face de concreto no Brasil, suas características e evolução conforme introdução de tecnologias, métodos e inovações na área.

Estudar os comportamentos da estrutura na fase construtiva e após concluídas, analisando seu comportamento mecânico, definido por muitos profissionais como um dos

fatores mais preocupantes para o projeto, considerando o comportamento dos sistemas de vedação.

4.1- DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Segundo Gomes et al. (2020), uma das estratégias que mais se mostra eficaz para a compreensão espacial e aprendizagem de representação e composição de projetos é a utilização de modelos físicos como recurso didático. Com esta ferramenta, os professores permitem que os alunos façam análises geográficas e compreendam as questões e dinâmicas da construção, relacionando tudo isso com a sua realidade.

Nosso projeto constitui no desenvolvimento de um corpo de estudo, representando uma barragem de enrocamento em escala reduzida e suas características, sendo essa realizada no laboratório de concreto da Universidade de Vassouras.

Na figura 03, está sendo preparado o terreno da barragem para a construção do talude de enrocamento.

Figura 03 - Processo de preparação do Talude de enrocamento.



Fonte: Acervo pessoal, 2023

Na sequência das figuras 04 e 05 verificamos a construção da face de concreto da barragem.

Figura 04 - Processo de preparação da face de concreto.



Fonte: Acervo pessoal, 2023

Figura 05 - Processo de construção da face de concreto.



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

Na etapa das figuras 06 e 07, podemos observar o acabamento da maquete e sua finalização.

Figura 06 – Acabamento e finalização da maquete.



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

Figura 07 – Maquete finalizada.



Fonte: Acervo pessoal, 2023.

5- CONCLUSÃO

As barragens de enrocamento com face de concreto representam um marco na engenharia hidráulica. Combinando a resistência do enrocamento natural com a impermeabilização do concreto, elas desempenham um papel crucial na gestão de recursos hídricos, geração de energia e controle de enchentes. Projetadas adequadamente, essas barragens têm vida útil longa e são altamente eficientes. Essa combinação estratégica de materiais e técnicas faz com que as barragens de enrocamento sejam especialmente relevantes para regiões

com características geológicas favoráveis, onde sua construção se torna economicamente e ambientalmente viável.

Durante o desenvolvimento do protótipo, foi obtida a experiência prática de criação de uma estrutura em escala permitindo um entendimento profundo dos aspectos técnicos e mecânicos de uma barragem de enrocamento com face de concreto. A atividade de construção em laboratório possibilitou uma perspectiva mais tangível sobre os desafios que envolvem o projeto e execução dessas barragens, dentre eles, a escolha adequada dos materiais e o alinhamento das camadas de enrocamento e concreto. Ademais, o processo de construção contribuiu para uma compreensão prática das dinâmicas de drenagem e distribuição de carga, fundamentais para garantir a estabilidade estrutural dessa barragem em situações reais.

REFERÊNCIAS

CRUZ, Paulo T.; MATERÓN, Bayardo; FREITAS, Manoel. Barragens de enrocamento com face de concreto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Barragens-de-Enrocamento-2ed-DEG.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2023.

BASS, Rafael Viana. Estudo tensão-deformação de um enrocamento visando BEFC. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-07082007-112420/publico/ESTUDOTENSAODEFORMACAODEUMENROCAMENTOVISANDOBEFC_RAFAELVBASS.pdf. Acesso em: 17 fev. 2024.

6360

BITTENCOURT, Arlei Mattje. Modelagem de comportamento de barragem de enrocamento com face de concreto utilizando o método dos elementos finitos. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90140>. Acesso em: 22 jul. 2024.

BERETTA, Victor Manuel Conesa. Análise numérica e estudo paramétrico da construção de barragens de enrocamento. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/91825>. Acesso em: 8 set. 2023.

PINTO, Fernando Gurgel de Andrade. Análise do comportamento de barragens de enrocamento com face de concreto. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/6368/6368_3.PDF. Acesso em: 18 jul. 2024.

DIAS, Rafael Carvalho. Patologia em barragens de enrocamento com face de concreto. [S.l.: s.n.], [2023]. Trabalho de conclusão de curso. Disponível em:

file:///C:/Users/Usuario/Documents/Trabalho%20Patologia/252347.pdf. Acesso em: 16 jul. 2024.

MASSAD, F. Construção de barragens com enrocamento e face de concreto. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

SANDRONI, M. L.; et al. Barragens de terra e enrocamento: características e técnicas de construção. Revista de Engenharia Civil, São Paulo, v. 45, p. 6, 2022.

COOKE, J. B.; SHERARD, J. L. Concrete-faced rockfill dams: design and construction. Journal of the Geotechnical Engineering Division, New York, 1987.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd ed. New York: Wiley, 1967.

MARSAL, R. J. Mechanical properties of rockfill. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, v. 99, n. SM1, p. 115-127, 1973.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13028:2017: Elaboração de projetos de barragens de mineração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 set. 2010.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334/2010, para aprimorar a segurança de barragens no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 set. 2020.