

BARRAGEM DE CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO DE CONTRAFORTES

CONCRETE DAM WITH THE USE OF BUTTERSTRONGS

Juliane Cristina Lamon Pontes¹

Eduardo Vieira Camargo²

Cláudio Bonfante de Oliveira³

RESUMO: Barragens são estruturas projetadas para interceptar e controlar o fluxo de água em córregos, rios e canais. O artigo explora os fundamentos das barragens com contraforte, destacando seu princípio de funcionamento baseado na distribuição e dissipação da pressão da água por meio de contrafortes. Comparando-as com outros tipos de barragens, a pesquisa ressalta suas vantagens, especialmente em condições geotécnicas favoráveis. Diversos tipos de barragens de concreto são discutidos, com ênfase nas características das barragens de contraforte. A aplicação prática dessas estruturas abrange projetos de geração de energia, abastecimento de água, controle de inundações, exemplificado pela barragem de Belo Monte no Brasil. O artigo detalha vantagens e desvantagens das barragens de contraforte, abordando sua durabilidade, estabilidade aprimorada e adaptação ao terreno, mas também os desafios de construção e riscos potenciais. Aspectos técnicos, como o cálculo de forças, esforços na fundação, tensões térmicas e deformações por variação de volume do concreto, são analisados em profundidade. A pesquisa inclui ainda uma discussão sobre a demanda hídrica, a vazão de projeto e a importância da análise geotécnica na fundação. A metodologia adotada envolveu uma análise qualitativa com revisão bibliográfica e a construção de uma maquete, e para o modelo 3D foi utilizado o software REVIT. Os resultados destacam a complexidade da criação da maquete, considerando a escala, a seleção de materiais e a representação realista dos elementos estruturais. Em resumo, o artigo oferece uma visão abrangente das barragens de contraforte, desde seus fundamentos até aplicações práticas e desafios de construção, culminando na representação física do modelo em escala reduzida.

Palavras-chave: Barragem. Contraforte. Concreto.

¹ Graduanda em Engenharia Civil. Universidade de Vassouras.

² Graduando em Engenharia Civil. Universidade de Vassouras.

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

ABSTRACT: Dams are structures designed to intercept and control the flow of water in streams, rivers and canals. The article explores the fundamentals of buttress dams, highlighting their operating principle based on the distribution and dissipation of water pressure through buttresses. Comparing them with other types of dams, the research highlights their advantages, especially in favorable geotechnical conditions. Various types of concrete dams are discussed, with emphasis on the characteristics of buttress dams. The practical application of these structures covers energy generation, water supply and flood control projects, exemplified by the Belo Monte dam in Brazil. The article details advantages and disadvantages of buttress dams, covering their durability, improved stability and adaptation to terrain, but also construction challenges and potential risks. Technical aspects, such as the calculation of forces, efforts in the foundation, thermal stresses and deformations due to changes in concrete volume, are analyzed in depth. The research also includes a discussion about water demand, project flow and the importance of geotechnical analysis in the foundation. The methodology adopted involved a qualitative analysis with bibliographic review and the construction of a model, and the REVIT software was used for the 3D model. The results highlight the complexity of creating the model, considering the scale, material selection and realistic representation of structural elements. In summary, the article offers a comprehensive overview of buttress dams, from their fundamentals to practical applications and construction challenges, culminating in the physical representation of the scaled-down model.

Keywords: Dam. Buttress. Concrete.

1 INTRODUÇÃO

A contextualização das barragens é essencial para compreender sua importância na gestão de recursos hídricos e infraestrutura. Essas, são estruturas amplamente difundidas globalmente e têm sido empregadas desde os primórdios das civilizações com a principal finalidade de armazenar água para momentos de escassez. As barragens são estruturas projetadas especificamente para interromper, controlar ou armazenar o fluxo de água em rios, córregos e canais. Elas desempenham um papel fundamental em várias áreas-chave como no abastecimento de água, geração de energia, controle de inundações, irrigação agrícola, navegação e transporte, recreação e turismo, controle de sedimentos e qualidade de água e armazenamento de água para emergência. Essas têm um papel vital na gestão de recursos hídricos, economia e segurança, sendo cruciais para o desenvolvimento sustentável global.

A declaração do problema e a justificativa para o estudo das barragens contraforte são elementos essenciais na pesquisa, pois estabelecem a base para a investigação e demonstram sua relevância. O problema central reside na necessidade de compreender as barragens contraforte e suas variações devido à sua aplicação relativamente menos comum em comparação com outros tipos de barragens. Isso levanta questões sobre sua eficácia, vantagens e desafios específicos em diferentes cenários geográficos e hidrológicos. Entretanto, o aprendizado é crucial para ampliar o conhecimento sobre a relevância na Engenharia Civil na segurança das estruturas e na gestão sustentável de recursos hídricos.

O presente artigo tem como principais objetivos, explorar os princípios de funcionamento, investigar suas aplicações práticas, avaliar suas vantagens e desvantagens, destacar os desafios e soluções, contribuir para o conhecimento científico, analisar componentes estruturas, e elaborar uma réplica em escala reduzida de uma barragem com contraforte, além de oferecer referências para profissionais da área de Engenharia Civil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

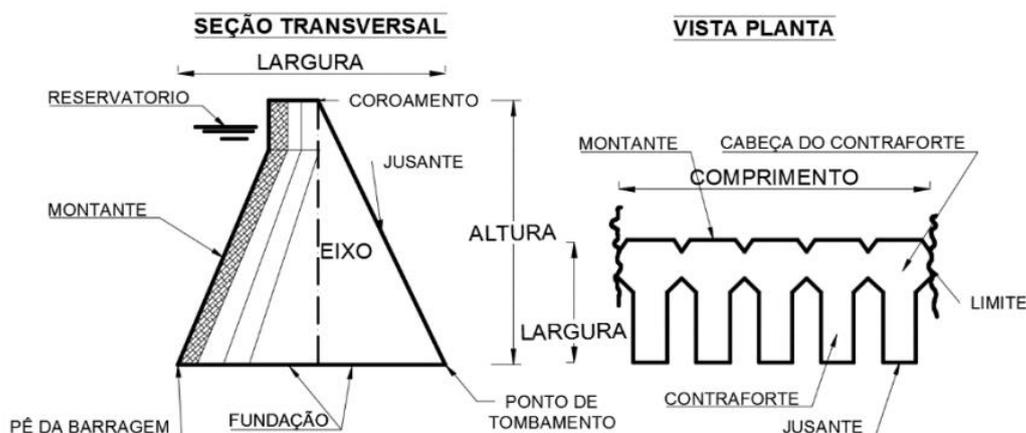
1006

2.1 Fundamentos das Barragens com Contraforte

2.1.1 Princípio de Funcionamento das Barragens com Contraforte

O princípio de funcionamento das barragens contraforte se baseia no método de utilização de contrafortes para distribuir e dissipar a pressão da água, assegurando a estabilidade da estrutura e a proteção das áreas a jusante. Essa abordagem se destaca em locais com condições geotécnicas favoráveis, onde a presença de contrafortes se traduz em maior resistência contra as forças hidrostáticas. Os contrafortes desempenham um papel essencial ao resistir ao empuxo da água, direcionando-o para as fundações da barragem. Isso evita o deslocamento da estrutura e potenciais deslizamentos. Além disso, a construção estratégica dos contrafortes permite que as barragens contraforte sejam particularmente eficazes em áreas com desafios topográficos específicos ou geologia complexa. Em conjunto com outras características de projeto, essa abordagem contribui para a segurança e a funcionalidade das barragens em uma variedade de contextos geográficos e hidrológicos. A imagem 1 representa as características de uma barragem de concreto com contraforte.

Imagem 1:Características da barragem de concreto com contraforte.



Fonte: Silva Junior, E. J. (2018). Análise Termo-Mecânica 2D da Barragem de Contraforte de Itaipu pelo Método dos Elementos Finitos em Fortran (Bachelor's thesis, Edivaldo José da Silva Junior).

2.1.2 Comparação da barragem com contraforte com outros tipos de barragens

A análise comparativa entre barragens com contraforte e outros tipos, como barragens de gravidade e de arco, evidencia notáveis distinções no que se refere ao seu desenho, funcionamento e áreas de aplicação. Na tabela 1 estão as principais comparações.

Tabela 1: Comparação com outros tipos de barragens.

Tipos de barragens	Tipo de estrutura	Uso de materiais	Topografia e localização	Resistência às forças hidrostáticas	Complexidade estrutural
Barragem de Contraforte	Utiliza contrafortes para distribuir e dissipar a pressão da água em direção às fundações.	Utiliza menos concreto do que uma barragem de gravidade comparável, devido à presença dos contrafortes.	É frequentemente a escolha preferida em áreas com vales estreitos, onde a topografia limita o uso de outras formas de	Distribui a pressão da água através dos contrafortes, permitindo que ela seja resistida pelas fundações.	Pode exigir um projeto estrutural mais complexo devido à presença dos contrafortes.
Barragem de Gravidade	Dependente do próprio peso para resistir às forças hidrostáticas, geralmente sem contrafortes.	Requer uma quantidade significativa de concreto, devido à sua construção maciça.	Pode ser construída em várias topografias, mas é mais comum em áreas com boa fundação rochosa.	Depende do próprio peso para resistir às forças hidrostáticas.	Geralmente é mais simples em termos de configuração estrutural.
Barragem de Arco	Tem uma forma arqueada que transfere a pressão da água para as abutments nas margens do rio.	Também utiliza menos concreto em comparação com barragens de gravidade, graças à sua forma aerodinâmica.	É adequada para vales profundos e estreitos, onde a pressão da água pode ser eficazmente transmitida para as abutments.	Transfere a pressão da água para as abutments, proporcionando resistência.	Pode ser complexa devido à geometria curva e às abutments necessárias.

Tabela 1: Autores (2023).

A seleção entre essas variedades de barragens é determinada pelas circunstâncias locais, requisitos específicos do projeto e considerações de ordem econômica. Em síntese, a barragem com contraforte oferece inúmeras vantagens que a tornam altamente atrativa, especialmente em contextos geográficos e hidrológicos complexos, onde sua eficiência no uso de recursos materiais e sua adaptabilidade podem prevalecer sobre outras alternativas de barragens.

2.2 Tipos de Barragens de Concreto

Cada tipo de barragem tem suas próprias características e aplicações específicas, sendo projetado para atender a diferentes necessidades de engenharia civil, topografia e hidrologia. A escolha do tipo de barragem depende das condições do local e dos objetivos do projeto. Existem alguns tipos de barragens, porém as mais comuns são:

- **Barragens de Concreto com Contraforte**

Essas barragens são caracterizadas por contrafortes verticais ou inclinados que se estendem para fora da face montante da barragem. Esses contrafortes fornecem suporte e estabilidade à estrutura principal da barragem.

1008

- **Barragens de Concreto de Gravidade**

Essas barragens são construídas com uma grande quantidade de concreto maciço, projetado para resistir à pressão da água apenas pelo seu próprio peso. São geralmente utilizadas em locais com rochas resistentes na fundação e são conhecidas por sua estabilidade

- **Barragens de Concreto de Gravidade Aliviada**

As barragens de concreto de gravidade aliviada oferecem uma alternativa eficaz e econômica para a retenção de água, especialmente em locais com limitações específicas de construção. Elas são projetadas para equilibrar a resistência necessária com a economia de material, contribuindo para a segurança e eficiência do projeto.

- **Barragens de Arco de Concreto**

Barragens de arco de concreto têm a forma de um arco devido à curvatura da parede de concreto. Elas são projetadas para resistir à pressão da água transmitida

através de sua curvatura e são adequadas para locais onde a fundação é sólida.

2.3 Aplicações Práticas

2.3.1 Uso das Barragens com Contrafortes em projetos de geração de energia

As barragens com contrafortes também podem ser utilizadas em projetos de geração de energia, principalmente em aplicações hidrelétricas. Essas são projetadas para criar reservatórios de água, armazenando-a durante períodos de baixa demanda e liberando-a estrategicamente através de turbinas quando a demanda por eletricidade é alta. A queda d'água resultante gira as turbinas, gerando energia elétrica de forma eficiente e renovável. A topografia específica e a configuração das barragens com contrafortes muitas vezes proporcionam um desnível considerável entre o nível do reservatório e o leito do rio a jusante, o que é fundamental para maximizar a capacidade de geração de energia.

2.3.2 Abastecimento de Água e Controle de Inundações

As barragens de contraforte desempenham um papel crucial no abastecimento de água, fornecendo um suprimento confiável e regulamentado para uma variedade de usos. Além disso, contribuem para a qualidade da água, a prevenção de inundações e a estabilidade hídrica, promovendo o crescimento econômico e o bem-estar das comunidades que dependem dessas fontes de água controlada.

2.3.3 Exemplo de projeto no Brasil

- **Barragem de Belo Monte**

Localizada no Rio Xingu, é um afluente do Rio Amazonas que flui para o norte do Estado do Pará. A barragem de Belo Monte, como mostra a imagem 2, é um projeto de grande envergadura que desempenha um papel importante na geração de energia elétrica e no desenvolvimento econômico da região. Essa barragem utiliza contrafortes em sua estrutura e tem sido objeto de debates significativos devido aos impactos ambientais e sociais.

Imagem 2: Usina hidrelétrica Belo monte.



Fonte: Silva Junior, E. J. (2018). Análise Termo-Mecânica 2D da Barragem de Contraforte de Itaipu pelo Método dos Elementos Finitos em Fortran (Bachelor's thesis, Edivaldo José da Silva Junior).

2.4 Vantagens e Desvantagens

As barragens de concreto com contraforte são um tipo específico de barragem que possui características específicas que proporcionam vantagens e desvantagens. Sendo elas:

2.4.1 Vantagens

Durabilidade: o concreto é um material durável, e as barragens construídas com essa tecnologia geralmente têm uma vida útil longa, exigindo menos manutenção ao longo do tempo;

Estabilidade melhorada: a presença de contrafortes aumenta a estabilidade da barragem, distribuindo as forças exercidas pela água de forma mais uniforme. Isso contribui para reduzir os riscos de deslizamentos ou colapso;

Adaptação ao terreno: podem ser construídas em terrenos acidentados ou com inclinações, pois essas estruturas ajudam a compensar a pressão da água sobre a barragem;

Redução de custo: Comparadas a algumas outras técnicas de construção de barragens, as barragens de concreto com contrafortes podem ser mais econômicas em termos de material e construção, especialmente em terrenos desafiadores.

2.4.2 Desvantagens

Riscos de vazamentos ou falhas: Apesar de sua estabilidade aprimorada, barragens ainda apresentam riscos potenciais de vazamentos e falhas. A manutenção adequada e a monitorização contínua são essenciais para mitigar esses riscos;

Complexibilidade na construção: A construção de barragens de concreto com contrafortes pode ser mais complexa em comparação com outras técnicas, devido à necessidade de incorporar os contrafortes de maneira adequada, o que pode aumentar os custos e o tempo de construção.

2.5 Método de Cálculo das forças

O cálculo das forças em uma barragem envolve uma série de considerações e métodos complexos, pois a estrutura deve resistir a diversas forças, incluindo o peso da água represada, cargas sísmicas, cargas de vento e outras influências ambientais. Esse cálculo é feito de maneira geral pela determinação das cargas hidrostáticas, peso próprio da estrutura, cargas de ventos e sísmicas, cargas devido a sobrecarga e uso, cargas de subpressão, determinação de tensões e deformações, fatores de segurança e análise de estabilidade. Com isso, é importante destacar que é uma tarefa complexa que requer a colaboração de engenheiros geotécnicos e estruturais. Além disso, todas as análises devem estar em conformidade com as normas de engenharia locais e nacionais, e é fundamental realizar estudos detalhados de impacto ambiental e social.

2.6 Esforços na Fundação

A fundação de uma barragem de concreto com contraforte é um elemento crucial na garantia de sua estabilidade e segurança. Os esforços nesse contexto concentram-se na capacidade do solo em suportar o peso da barragem e na distribuição adequada das cargas. Nesse sentido, realiza-se uma análise geotécnica para compreender as características do solo e escolher a fundação mais adequada, que pode consistir em uma base de concreto sólido, estacas ou blocos. Os contrafortes, que são estruturas verticais projetadas para se projetarem para fora da barragem, desempenham um papel essencial na transferência de forças, aliviando a pressão hidrostática sobre a parede de concreto. Além disso, a estabilidade sísmica e a drenagem adequada são considerações importantes para garantir a resistência da

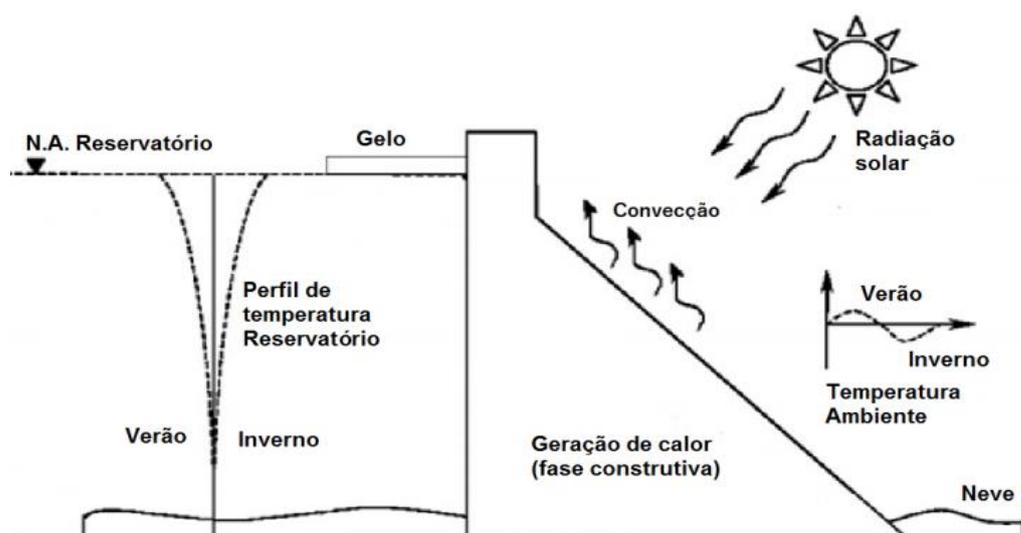
fundação. Monitoramento constante e manutenção são essenciais para preservar a integridade da barragem ao longo do tempo.

2.7 Tensões Térmicas

As tensões térmicas desempenham um papel importante no planejamento e construção de barragens de concreto com contraforte, especialmente em regiões com variações significativas de temperatura ao longo do ano. Essas tensões surgem devido às mudanças de temperatura que provocam a expansão e contração do concreto na barragem, resultando em esforços internos que, quando não devidamente gerenciados, podem prejudicar a integridade da estrutura.

Em elementos de concreto de grande escala, como barragens, é possível que ocorram fissuras devido às influências do gradiente térmico, que se origina a partir do calor gerado durante a hidratação do cimento, provocando tensões de tração. A imagem 3, são exemplificados os carregamentos térmicos que incidem nas estruturas das barragens. Nota-se que os fenômenos de condução e convecção se manifestam de forma distinta nas áreas a montante e a jusante, dependendo das propriedades do fluido.

Imagem 3: Carga térmica.



Fonte: Aracayo, L. A. S. (2016). Modelagem térmica de barragem de contraforte via ANSYS: caso de estudo Bloco E6 da Usina Hidrelétrica de Itaipu-UHI (Bachelor's thesis).

2.8 Deformação por Variação de Volume do Concreto

As deformações ocorrem devido a variações na umidade e temperatura do concreto e podem afetar a integridade da estrutura ao longo do tempo. As principais considerações relacionadas à deformação por variação de volume do concreto em uma barragem de concreto com contraforte são por contração do concreto, expansão térmica, juntas dilatação, dentre outros fatores. Por isso é fundamental que especialistas considerem cuidadosamente a deformação por variação de volume do concreto durante o projeto e a construção da barragem.

2.9 Demanda Hídrica e Vazão de projeto

A demanda hídrica e a vazão de projeto desempenham papéis cruciais no planejamento de uma barragem de concreto, pois estão diretamente ligadas à quantidade de água requerida para atender a propósitos específicos, como abastecimento público, geração de energia hidroelétrica, irrigação agrícola, atividades de lazer aquático, controle de fluxos de água, fornecimento de água para animais e outras necessidades relacionadas ao consumo ou à gestão da escassez de recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do artigo foi conduzida uma análise qualitativa que envolveu a elaboração de uma revisão bibliográfica. Como base teórica, foram utilizados artigos científicos, livros e sites acessíveis online. Esse processo consistiu em reunir e analisar as informações encontradas nas fontes pesquisadas, selecionando aquelas que se destacaram pela sua relevância. Já para a elaboração da maquete, foi selecionada a melhor metodologia para a construção da mesma, o material a ser utilizado, divisão das tarefas, passo a passo para a realização do projeto, e o software REVIT para representação da maquete eletrônica em 3D. A confecção da mesma envolveu a utilização de uma caixa plástica, isopor, cola de isopor, tinta guache, pincel, gel de cabelo, pedra brita 01, terra e grama artificial.

O isopor foi colado com cola estrategicamente posicionado no recipiente plástico para simular a parede de concreto da barragem, com os contrafortes projetados para conter a água, representada pelo gel azul misturado com água. A mistura de terra

e brita o1 foi cuidadosamente aplicada para preencher tanto a área a montante quanto a jusante do recipiente. Com propósitos estéticos, uma camada de grama sintética foi adicionada sobre a região a jusante da barragem, aprimorando a aparência geral da maquete e fornecendo um toque de realismo ao cenário representado.

A imagem 4 demonstra o modelo 3D em escala maior realizado no software REVIT para melhor visualização do projeto. A imagem 5 demonstra a execução do modelo reduzido da barragem em estudo, exceto pelo gel azul.

Imagem 4: Execução - modelo 3D no software REVIT.

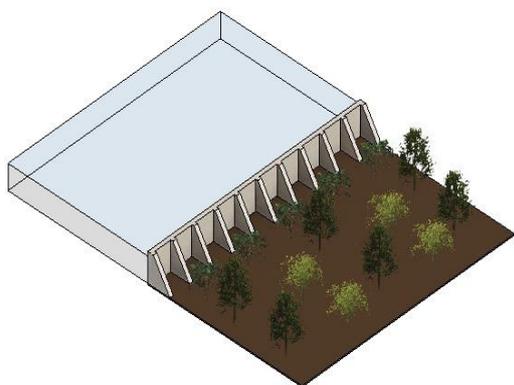


Imagem 5: Execução - modelo reduzido da barragem



Fonte: Autores (2023).

RESULTADOS

A criação de uma maquete de uma barragem de concreto com contraforte é uma tarefa desafiadora devido à necessidade de reproduzir fielmente os elementos estruturais. Isso envolve considerações essenciais, como a escolha da escala apropriada para manter a precisão dimensional, a seleção de materiais que simulem com precisão a aparência do concreto e dos contrafortes, a representação detalhada da estrutura e seus componentes, a gestão eficaz de tempo e recursos para a construção da maquete, e a atenção aos detalhes estéticos para proporcionar uma representação visualmente atraente e realista.

Nesse estudo, utilizou-se um modelo simplificado de barragem de concreto com contraforte com o intuito de simular a correção do curso do rio. Optou-se por empregar isopor como material de construção devido à sua acessibilidade e custo reduzido, tornando a montagem mais viável economicamente.

CONCLUSÃO

Em síntese, a pesquisa apresenta uma análise abrangente sobre a importância das barragens, com foco especial nas barragens de contraforte. Ao explorar os fundamentos, princípios de funcionamento, comparações com outros tipos e aplicações práticas, o estudo destaca a relevância dessas estruturas em diversos contextos, desde geração de energia até controle de inundações. A exposição das vantagens e desvantagens, juntamente com aspectos técnicos como os cálculos de forças, esforços na fundação e tensões térmicas, enriquece a compreensão sobre a complexidade envolvida na concepção e construção dessas barragens.

A análise detalhada das etapas metodológicas, incluindo a revisão bibliográfica e a construção da maquete, oferece uma visão prática do processo de pesquisa. Destaca-se a aplicação do software REVIT para criar uma representação tridimensional, evidenciando a complexidade na elaboração de modelos em escala. Os resultados destacam os desafios na construção da maquete, ressaltando a importância da precisão dimensional, seleção de materiais e atenção aos detalhes.

Em conclusão, a pesquisa contribui significativamente para o entendimento das barragens de concreto com contrafortes, proporcionando uma visão abrangente que vai desde os conceitos fundamentais até a aplicação prática, culminando na representação física do modelo em escala reduzida. Este estudo não apenas aprofunda o conhecimento teórico sobre essas estruturas vitais, mas também oferece insights práticos para profissionais da Engenharia Civil, contribuindo assim para o avanço contínuo na gestão de recursos hídricos e infraestrutura sustentável.

REFERÊNCIAS

SILVA JUNIOR, E. J. (2018). Análise Termo-Mecânica 2D da Barragem de Contraforte de Itaipu pelo Método dos Elementos Finitos em Fortran (Bachelor's thesis, Edivaldo José da Silva Junior).

SOARES, E. (2014). Projeto Estrutural de uma Barragem em Contrafortes.

NORTE ENERGIA SA. (Ano). UHE Belo Monte - A Usina. Norte Energia SA. Recuperado de <https://www.norteenergiasa.com.br/pt-br/uhe-belo-monte/a-usina>

TEIXEIRA, R. L., & Gomes, M. D. O. (2017). Análise e desenvolvimento de projeto construtivo de uma pequena barragem de terra no Córrego da Cava-Morrinhos/GO, com foco na segurança.

ARACAYO, L. A. S. (2016). Modelagem térmica de barragem de contraforte via ANSYS: caso de estudo Bloco E6 da Usina Hidrelétrica de Itaipu-UHI (Bachelor's thesis).