

**CÁLCULO E IMPLEMENTAÇÃO DA DESCARGA DE FUNDO EM BARRAGENS: GUIA
TEÓRICO E PRÁTICO**

**CALCULATION AND IMPLEMENTATION OF BOTTOM DISCHARGE IN DAMS:
THEORETICAL AND PRACTICAL GUIDE**

**CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DEL DESCARGA DE FONDO EN PRESAS: GUÍA
TEÓRICA Y PRÁCTICA**

 10.56238/revgeov16n5-060

Jonathan Joaquim de Morais

Mestrando em Engenharia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Tocantins (UFT)
E-mail: jonathanjm.eng.c@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-2362-0962>
Lattes: lattes.cnpq.br/1804331466956569

Girlene Figueiredo Maciel

Doutor em Recursos Naturais
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
E-mail: maciel@uft.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9217-3731>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9377355626452682>

Rodrigo Martins Ribeiro

Mestrando em Engenharia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Tocantins (UFT)
E-mail: rodrigo@pleiade.eng.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-0075-4859>
Lattes: lattes.cnpq.br/0873059368885932

Mateus Chagas dos Santos

Mestrando em Engenharia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Tocantins (UFT)
E-mail: chagasmateus2000@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-1900-8384>
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5594405175252978>

Amanda da Rosa Lena

Mestranda em Engenharia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Tocantins (UFT)
E-mail: amandadarosalena@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-1826-245X>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1289596665086548>



Fernán Enrique Vergara Figueroa

Doutor em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Instituição: Universidade de Brasília (UnB)

E-mail: fernan@uft.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1643-2564>Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4356137674634041>**Joel Carlos Zukowski Junior**

Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

E-mail: zukowski@uft.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5070-5274>Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0062084279231594>**RESUMO**

A descarga de fundo em barragens opera permitindo que a água armazenada no reservatório seja liberada por meio de estruturas localizadas na base da barragem. É uma estrutura projetada para controlar a liberação controlada de água do reservatório, garantindo a estabilidade da barragem e controlando os níveis de água. Essa componente é essencial em represamento para garantir a segurança estrutural da barragem e a gestão eficiente dos recursos hídricos. Este artigo oferece uma abordagem integrada para o cálculo e implementação de descargas de fundo em barragens, com foco em sifões invertidos, baseando-se em estudos hidrológicos e normativos. Combinando teoria, legislação e prática, busca-se fornecer um guia prático que engloba desde os fundamentos teóricos até a execução da instalação. O objetivo é simplificar o processo para engenheiros e técnicos, garantindo a operação segura e eficiente das barragens, além de atender às exigências ambientais e regulatórias.

Palavras-chave: Descarga de Fundo. Barragens. Sifão Invertido. Cálculo Hidrológico. Segurança de Barragens.

ABSTRACT

Bottom flushing operates by allowing water stored in the reservoir to be released through structures located at the base of the dam. It is a structure designed to control the controlled release of water from the reservoir, ensuring the stability of the dam and controlling water levels. This component is essential in damming to ensure the structural safety of the dam and the efficient management of water resources. This article offers an integrated approach to the calculation and implementation of bottom discharges in dams, with a focus on inverted siphons, based on hydrological and normative studies. Combining theory, legislation and practice, the aim is to provide a practical and complete guide that covers everything from the theoretical foundations to the execution of the installation. The objective is to simplify the process for engineers and technicians, ensuring the safe and efficient operation of dams, in addition to meeting environmental and regulatory requirements.

Keywords: Bottom Discharge. Dams. Inverted Siphon. Hydrological Calculation. Dam Safety.

RESUMEN

La descarga de fondo en presas funciona permitiendo la liberación del agua almacenada en el embalse a través de estructuras ubicadas en la base. Esta estructura está diseñada para controlar la liberación



controlada de agua del embalse, garantizando la estabilidad de la presa y regulando los niveles de agua. Este componente es esencial en los embalses para garantizar la seguridad estructural de la presa y la gestión eficiente de los recursos hídricos. Este artículo ofrece un enfoque integral para el cálculo e implementación de la descarga de fondo en presas, centrándose en los sifones invertidos, basándose en estudios hidrológicos y regulatorios. Combinando teoría, legislación y práctica, el objetivo es proporcionar una guía práctica que abarca desde los fundamentos teóricos hasta la ejecución de la instalación. El objetivo es simplificar el proceso para ingenieros y técnicos, garantizando la operación segura y eficiente de las presas, además de cumplir con los requisitos ambientales y regulatorios.

Palabras clave: Descarga de Fondo. Presas. Sifón Invertido. Cálculo Hidrológico. Seguridad de Presas.



1 INTRODUÇÃO

As Barragens estão intimamente ligadas ao desenvolvimento social e científico da humanidade. São estruturas que podem influenciar tanto a área ao seu redor quanto suas proximidades rurais e urbanas. A milênios que ser humano reconheceu a necessidade de construir reservatórios com o intuito de conter as águas superficiais para um bem individual ou coletivo (Rocha et al., 2024).

O sistema de descarga de fundo é utilizado para controlar o nível de água em barragens, com o objetivo de mitigar riscos relacionados a inundações, rompimentos e transbordamentos. Consiste em um mecanismo que permite a liberação controlada da água acumulada, desempenhando uma função específica na operação de barragens, sobretudo nas de grande porte (Silva et al., 2016). Em contextos específicos, como em barragens de pequena porta ou em locais com condições de escassez hídrica, a utilização da descarga de fundo pode ser considerada dispensável (Aion, 2018).

Apesar da sua importância, a aplicação da descarga de fundo ainda não está amplamente difundida. Em parte, isso se deve aos riscos associados à operação, como vibrações excessivas nas comportas, cavitação e vazamentos. Esses fatores podem impactar significativamente os custos de construção e manutenção da barragem, uma vez que o dispositivo requer inspeção e cuidados constantes. Devido ao desgaste gerado pela cavitação e abrasão, Rocha et al. (2018) sugerem que o uso contínuo da descarga de fundo seja evitado para prevenir danos estruturais.

Um exemplo no Brasil é a Barragem de Pedra do Cavalo, localizada na Bahia, considerada uma das mais importantes, pois é responsável pelo abastecimento de água da capital Salvador e sua região metropolitana. Inicialmente, a barragem contava com uma descarga de fundo para auxiliar no controle do enchimento do reservatório. No entanto, após o nível de água superar a cota do vertedouro, o dispositivo foi desativado e deixou de ser utilizado.

Em contrapartida, outros países, como os Estados Unidos, Espanha e Suíça, reforçaram suas legislações de segurança de barragens, exigindo a inclusão de descargas de fundo em novas construções e, no caso da Espanha, até mesmo em barragens já existentes.

Essa abordagem equilibrada entre os benefícios operacionais e os desafios técnicos tem sido debatida em diferentes contextos ao redor do mundo, destacando a importância de adaptar as melhores práticas de acordo com as particularidades de cada barragem e região. No Brasil, embora ainda não haja uma legislação específica sobre o tema, a Agência Nacional das Águas (ANA) já recomenda a implementação desse dispositivo como uma prática essencial para a segurança e o bom funcionamento das barragens.

Contudo, a operação de barragens no Brasil ainda enfrenta inúmeros desafios, especialmente no que se refere ao correto funcionamento das descargas de fundo. Essas estruturas servem para garantir a segurança, manutenção e operação eficiente das barragens. No entanto, estima-se que mais



de 90% das barragens no país apresentem problemas relacionados à gestão desse sistema, tornando urgente a adoção de métodos práticos e normatizados.

Assim, a descarga de fundo em barragens desempenha diversas funções essenciais, tais como o esvaziamento do reservatório, tanto para manutenção programada quanto em situações de emergência, além de permitir a remoção de sedimentos acumulados e a renovação das águas. Esse dispositivo também é crucial para manter o fluxo regular no rio a jusante, assegurando que a água continue fluindo pelas estruturas de barramento, o que contribui para a preservação do ecossistema local.

Este artigo visa proporcionar um guia para o cálculo e implementação de sistemas de descarga de fundo, focando no uso de sifões invertidos, uma solução econômica e de fácil implementação. A metodologia baseia-se em estudos teóricos e práticos, na legislação aplicável e em normas técnicas como a ABNT NBR 12214 (1992) e a ABNT NBR (2017), além de exemplos práticos aplicados em barragens no Brasil. A proposta central é garantir que, por meio de uma única fonte, o leitor possa entender os princípios teóricos, seguir as fórmulas de cálculo e aplicar as orientações práticas para instalação, proporcionando uma solução completa para a gestão hídrica em barragens.

A metodologia adotada neste estudo baseou-se no levantamento bibliográfico de trabalhos acadêmicos, legislações e guias de projeto sobre o uso de dispositivos de descarga de fundo em barragens. Conforme descrito por Manzo (1986), o levantamento bibliográfico oferece meios para definir, resolver, não somente problemas já conhecidos, como também explorar novas áreas onde os problemas não se cristalizaram suficientemente. Esse método permite ao pesquisador apoiar suas análises com dados paralelos e ampliar o alcance de suas descobertas.

Durante a pesquisa, foram consultados diversos tipos de fontes, como artigos científicos, normas técnicas e legislações nacionais e internacionais. Os estudos abrangem diversos países, incluindo Brasil, Índia, Espanha, Estados Unidos, Canadá, Suíça e Reino Unido, o que contribuiu para uma visão global sobre a aplicação e os desafios da implementação de descargas de fundo. Além disso, foram analisados manuais e boletins técnicos de instituições como a Agência Nacional das Águas (ANA), que fornecem diretrizes e recomendações práticas sobre a instalação e manutenção desses dispositivos.

Esse método também incluiu a consulta a normas da ABNT, como a ABNT NBR 12214 (1992) e a ABNT NBR 13028 (2017), que orientam o dimensionamento e a construção de sistemas de controle de água, garantindo que os parâmetros técnicos estejam alinhados com as melhores práticas internacionais.



2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A base teórica e metodológica deste artigo segue os estudos de Tomaz (2012), cujos trabalhos são extremamente reconhecidos na área de gestão de recursos hídricos e barragens. Suas contribuições metodologias de cálculo de descargas de fundo em barragens, que são essenciais para a manutenção da estrutura e a preservação ambiental. Esses dispositivos garantem o escoamento adequado da água e evitam o acúmulo de sedimentos, promovendo a renovação constante das águas a jusante, além de controlar o volume de água nos reservatórios.

A descarga de fundo é uma estrutura importante para a segurança de barragens, pois possibilita o controle da vazão de água liberada para jusante, tanto em situações normais de operação quanto em emergências, como esvaziamento do reservatório. Além disso, desempenha um papel relevante na preservação dos ecossistemas aquáticos, garantindo a manutenção da vazão mínima ecológica, conforme exigido pelas normas ambientais (Rocha et al., 2018; Paulo et al., 2021).

As descargas de fundo podem ser renovadas de diferentes formas, dependendo do tipo de barragem (terra ou concreto) e de sua função principal, como abastecimento, armazenamento ou geração de energia. Essas variáveis influenciam diretamente na escolha da solução mais comprometida para a descarga de fundo. Os principais tipos incluem descargas controladas por válvulas, por tubos e por sifão. O uso de sifão invertido é especialmente comum em barragens de terra que não possuem uma descarga de fundo embutida, ou onde uma descarga existente não atende à vazão ecológica necessária para a demanda hídrica da região (Silva et al., 2016).

O sifão invertido utiliza o princípio da pressão atmosférica para mover água de uma altura superior para uma inferior, sem a necessidade de bombas. A água é conduzida por meio de um tubo em forma de "U" invertido, onde a pressão no ponto mais alto do sifão é menor que a atmosférica, gerando um fluxo contínuo. Esse tipo de sistema é amplamente utilizado em barragens de terra que não possuem uma descarga de fundo embutida, sendo instalado externamente, o que facilita sua implementação e reduz os custos (Dini; Tabesh, 2014; Campos, 2020).

Além disso, o uso de sifões invertidos é uma solução eficiente, principalmente quando a demanda hídrica da região e a necessidade de renovação das águas não são atendidas pelas descargas existentes. Em projetos que exigem maior flexibilidade operacional e controle sobre o fluxo de água, o sifão se destaca como uma alternativa prática e de baixo custo. Ele permite uma intervenção mínima na estrutura da barragem existente, enquanto garante o controle adequado da vazão e a manutenção do nível de água desejado no reservatório (Abreu et al., 2018).

A implementação de descargas de fundo por sifão, especialmente em barragens de terra, também auxilia na remoção de sedimentos acumulados no fundo do reservatório, o que é essencial para preservar a capacidade do reservatório e evitar o assoreamento. Este tipo de solução é



particularmente útil em regiões onde o controle do nível de água é crucial para evitar problemas de operação e preservação ambiental (Campos, 2019; Abreu, 2019).

A importância estrutural e ecológica das descargas de fundo é amplamente destacada em estudos como o de Paulo et al. (2021), que examinam a eficácia da descarga de fundo no controle do nível de água e na remoção de sedimentos acumulados. Além disso, os dispositivos atuam na segurança da barragem, evitando a sobrecarga hidráulica que pode comprometer a integridade estrutural.

Do ponto de vista hidrodinâmico, as fórmulas mais utilizadas para o cálculo de vazão incluem as equações de Manning e Hazen-Williams. A pesquisa de Manning é aplicada para determinar a vazão em função da rugosidade do material, do diâmetro cerâmico e da orientação do fluxo, sendo amplamente utilizada em sistemas gravitacionais. Por outro lado, a engenharia de Hazen-Williams é empregada para calcular a perda de carga em sistemas hidráulicos, sejam eles de recalque ou por gravidade, já que ambos envolvem pressurização, seja natural ou artificial. A aplicação adequada dessas fórmulas é fundamental para o dimensionamento correto e a eficiência operacional do sistema de descarga (Silva et al., 2016).

3 NORMATIZAÇÃO E LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

No Brasil, a gestão e normatização da segurança de barragens é regida por uma série de leis e decretos que visam garantir a proteção dos recursos hídricos e a segurança das infraestruturas envolvidas. O Decreto Estadual nº 2.432/2005, do Estado do Tocantins, estabelece regras específicas para a outorga do direito de uso de recursos hídricos, com foco em barragens com captação a fio d'água. Esse decreto define que uma vazão mínima para garantir o fluxo ecológico deve ser de 25%, uma medida que visa manter a biodiversidade local e minimizar os impactos ambientais negativos (Tocantins, 2005). Essa regulação é essencial para a implementação de sistemas de descarga de fundo, garantindo que o uso dos recursos hídricos seja sustentável e seguro.

Além das normas estaduais, a Lei Federal nº 12.334/2010, que trata da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), é um marco regulatório que impõe diretrizes claras sobre a construção, operação, monitoramento e manutenção de barragens no Brasil. Essa legislação foi criada em resposta a diversos incidentes ocorridos nas barragens brasileiras, com o objetivo de garantir que todas as barragens atendam a padrões mínimos de segurança, não apenas estruturais, mas também ambientais (BRASIL, 2010). A Lei foi complementada pela Lei nº 14.066/2020, que aumentou o prejuízo no controle da segurança de barragens após tragédias como a de Brumadinho e Mariana. A adoção de descargas de fundo nesse contexto é uma resposta prática às exigências impostas por essa legislação, permitindo que os operadores de barragens cumpram os requisitos estabelecidos.

Outra norma relevante para o planejamento e implementação de descargas de fundo é a ABNT NBR 13028 (2017), que fornece diretrizes técnicas para a construção e manutenção de barragens de



terra. Essa norma abrange desde o projeto inicial até o monitoramento contínuo da estrutura, considerando os impactos ambientais e os requisitos técnicos para garantir a segurança da obra (ABNT, 2017). O uso de sistemas de descarga de fundo é especialmente importante em barragens de terra, pois permite a remoção de sedimentos acumulados e o controle do nível de água, evitando sobrecargas estruturais.

A Resolução CONAMA nº 344/2004 também merece destaque, pois estabelece procedimentos mínimos para a avaliação de sedimentos a serem dragados. Esses procedimentos são diretamente aplicáveis ao uso de sistemas de descarga de fundo, pois garantem que a remoção de sedimentos seja realizada de maneira segura e em conformidade com as diretrizes ambientais (CONAMA, 2004). No contexto da operação de barragens, essa resolução complementa as demais normativas, reforçando a importância de se manter um controle rigoroso sobre o manejo dos sedimentos.

Além disso, o manual técnico da Agência Nacional de Águas (ANA) recomenda a adoção de sistemas de descarga de fundo como uma medida eficiente para a gestão de recursos hídricos em barragens (Abreu et al., 2018). A ANA, como órgão regulador, trabalha em conjunto com as normativas estaduais e federais para garantir que todas as barragens no Brasil sejam operadas de acordo com as melhores práticas de sustentabilidade e segurança hídrica.

Em termos comparativos, o Brasil ainda está em fase de adaptação para cumprir as exigências estabelecidas nas legislações internacionais mais rígidas, como a legislação espanhola, que exige que todas as novas barragens, e muitas já existentes, incorporem sistemas de descarga de fundo para manter a segurança hídrica e ambiental (Pereira, 2019). Nos Estados Unidos, a gestão de barragens é amplamente regulamentada, com legislações que desativam sistemas de descarga de fundo em todas as estruturas, especialmente em regiões propensas a secas e variações extremas de fluxo hídrico (Maia, 2023).

Desta forma, a normatização brasileira sobre a segurança de barragens, e em particular sobre descargas de fundo, é bem estabelecida, mas requer uma constante adaptação e atualização. A integração entre legislações estaduais e federais, bem como a incorporação das melhores práticas internacionais, é essencial para garantir que as barragens no Brasil operem de maneira segura e sustentável. O alinhamento com a ABNT NBR 12214 (1992), que aborda o dimensionamento de sistemas de bombeamento de água, também complementa as normas de segurança para garantir que o fluxo de água seja devidamente controlado (ABNT, 1992).

4 METODOLOGIA DE CÁLCULO PARA SIFÕES INVERTIDOS

O cálculo da vazão de uma descarga de fundo envolve a aplicação de equações hidrodinâmicas que consideram fatores como o diâmetro da tubulação, a inclinação e a rugosidade do material utilizado. A equação de Manning, por exemplo, é amplamente utilizada para estimar o fluxo de água



em sistemas de sifão invertido, enquanto a equação de Hazen-Williams fornece estimativas precisas da perda de carga em sistemas pressurizados (Silva et al., 2016).

Estes cálculos são fundamentais para garantir que o sistema de descarga de fundo opere dentro dos limites de segurança e eficiência estabelecidos pelas normativas nacionais e internacionais (Campos et al., 2019). Segundo Silva et al. (2016), a aplicação correta dessas equações permite dimensionar a estrutura de forma adequada, assegurando que a descarga de fundo atenda às demandas de vazão e opere sem comprometer a integridade da barragem.

A metodologia utilizada neste artigo é baseada nos estudos de Tomaz (2012). Para calcular a vazão (Q) da água que escoar pela descarga de fundo, utilizam-se as equações de Manning e Hazen-Williams. Essas equações consideram o diâmetro da tubulação (D), a inclinação (S) e a rugosidade do material da tubulação (n).

A Equação de Manning é amplamente utilizada para calcular a vazão (Q) em canais abertos e tubulações parcialmente cheias. Ela considera o coeficiente de rugosidade do material (n), o raio hidráulico (R) e a inclinação do fluxo (S).

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (1)$$

Em que:

- Q é a vazão, m³/s
- A é a área molhada, m²
- R é o raio hidráulico, m
- S é a declividade, m/m

Já a Equação de Hazen-Williams é aplicada para determinar a perda de carga em tubulações cheia.

$$Q = C \times D^{2,63} \times S^{0,54} \quad (2)$$

Onde:

- Q é a vazão em m³/s
- D é o diâmetro em metros
- S é a perda de carga unitária em metros por metro de tubulação
- C é o coeficiente que depende da natureza do material empregado e das condições das paredes internas.



Essas equações permitem dimensionar o volume de água a ser liberado pela descarga de fundo, garantindo uma operação segura e eficiente (Campos et al., 2019; Tomaz, 2012). Essas fórmulas permitem calcular a capacidade de escoamento e garantir que o sistema esteja corretamente dimensionado.

De acordo com a ASCE, 1992, o sifão para condução de águas pluviais deve ter uma velocidade máxima de 1,8 m/s, e caso haja materiais abrasivos, a velocidade deve ser inferior a 3 m/s. O dimensionamento é feito com base no foco na velocidade mínima. Ainda conforme a ASCE, 1992, a perda de carga pode ser calculada usando a proposta de Manning, que é a seguinte:

$$HF = \frac{19,5 n^2 \times L \times V^2}{R^{4/3} \times 2 \times g} \quad (3)$$

Sendo:

- HF = perda de carga (m)
- n = rugosidade de Manning
- L = comprimento da circunferência (m)
- V = velocidade (m/s)
- R = raio hidráulico (m)
- g = 9,81 m/s²

Devem ser calculadas as perdas de carga nas curvas, contrações, expansões, bem como nas entradas e saídas.

Conhecemos a vazão precisamos dimensionar o diâmetro do sifão utilizando a formulação de Darcy-Weisbach ou a fórmula de Hazen-Williams. Para tubulações com diâmetro inferior a 50 mm, podem ser utilizadas outras fórmulas, como a de Flamant. No entanto, a grande vantagem da fórmula de Hazen-Williams é que ela facilita a escolha do coeficiente de rugosidade C, o qual é mais fácil de estimar em comparação com os valores de K utilizados na fórmula de Darcy-Weisbach. A fórmula para a perda de carga por metro (J) é dada por:

$$j = \frac{10,643 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \quad (4)$$

Onde:

- J é a perda de carga por metro (m/m);
- Q é a vazão em metros cúbicos por segundo (m³/s);



- C é o coeficiente de rugosidade da tubulação conforme Hazen-Williams;
- D é o diâmetro da tubulação em metros.

Na tabela 1 estão listados alguns valores para o coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams.

Tabela 1 - Coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams.

Material	Coeficiente de rugosidade C
Ferro fundido novo	130
Ferro fundido revestido com cimento	130
Aço novo	120
Aço em uso	90
PVC	150
Ferro fundido em uso	90

Fonte: Adaptado de Dini e Tabesh (2014)

A fórmula para o cálculo da perda de carga no trecho de tubo de comprimento L é:

$$h_f = J \times L \quad (5)$$

Sendo:

- h_f = perda de carga no trecho, em metros de coluna de água;
- J = perda unitária obtida pela fórmula (4);
- L = comprimento da tubulação (m).

A velocidade na fórmula de Hazen-Williams é dada por:

$$V = 0,355 \times C \times D^{0,63} \times J^{0,54} \quad (6)$$

Sendo:

- V = velocidade (m/s);
- C = coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (adimensional);
- D = diâmetro (m);
- J = perda de carga unitária (m/m).

A fórmula de Hazen-Williams é aplicável para altas velocidades, mas é questionável para valores de C abaixo de 100, sendo seu uso limitado a velocidades menores que 3 m/s.

Mott (1994) apresentou uma fórmula de Hazen-Williams para qualquer seção, utilizando o raio hidráulico. Para unidades do Sistema Internacional (SI), tem-se:



$$V = 0,85 \times C \times R^{0,63} \times S^{0,54} \quad (7)$$

$$hfL = L \left[\frac{Q}{0,85 \times A \times C \times R^{0,63} \times S^{0,54}} \right] \quad (8)$$

Sendo:

- V = velocidade média na seção (m/s);
- C = coeficiente de Hazen-Williams (varia entre 100 e 140 para concreto);
- R = raio hidráulico (m) = A/P.

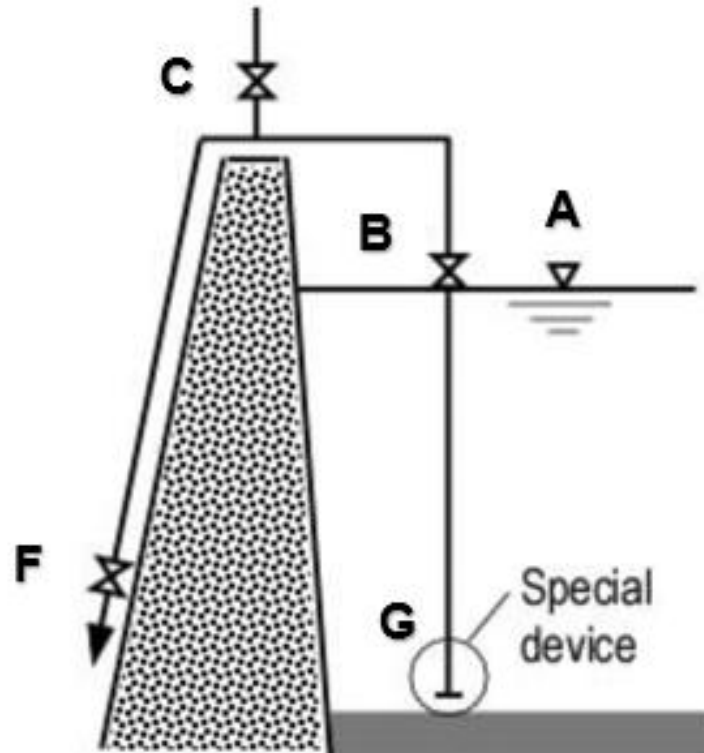
Analisando um sifão normal, ou seja, o sifão usando Mott, 1994. Pode-se utilizar a equação de Bernoulli, assumindo inicialmente que não há perda de carga, embora ela possa ser facilmente usada quando se consideram perdas de cargas distribuídas e localizadas. Caso não haja perdas de carga localizadas e distribuídas, teremos:

$$\frac{p}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} = constante \quad (9)$$

Contudo, deve-se considerar as perdas de cargas localizadas e distribuídas. Em seguida, o cálculo e a aplicação da equação de Bernoulli são detalhados para pontos específicos do sistema de sifão, utilizando dados de um barramento. Para isso, são considerados valores como vazão, comprimento de sucção e perdas localizadas.



Figura 1 - Sifonamento em barragem



Fonte: Tomaz (2012)

4.1 PRIMEIRO

O primeiro passo é aplicar a equação de Bernoulli nos pontos A e F da Figura 1.

$$\frac{p_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{p_F}{\gamma} + Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + hf_{AF} + \Sigma ks \times \frac{V_F^2}{2g} \quad (10)$$

Sendo:

- hf = perda de carga distribuída (m)
- $\Sigma ks \frac{V_F^2}{2g}$ = perda de cargas localizadas (m)

4.2 SEGUNDO

O segundo passo é aplicar a equação de Bernoulli nos pontos A e B da Figura 1.

$$\frac{p_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{p_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + hf_{AB} + \Sigma ks \times \frac{V_B^2}{2g} \quad (11)$$

4.3 TERCEIRO

O terceiro passo é aplicar a equação de Bernoulli nos pontos A e C da Figura 1.



$$\frac{p_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{p_C}{\gamma} + Z_C + \frac{V_C^2}{2g} + hf_{AC} + \Sigma ks \times \frac{V_C^2}{2g} \quad (12)$$

A implementação adequada destas etapas resultará na regularização do Barramento de Terra em conformidade com as exigências do órgão ambiental vigente do seu estado. Vale ressaltar que a vazão necessária para o sistema pode variar de acordo com a região, sendo, portanto, essencial o acompanhamento de engenharia civil e ambiental para o correto dimensionamento do projeto e sua execução precisa.

5 EXECUÇÃO E INSTALAÇÃO

Após a conclusão dos cálculos, chega-se o momento da instalação da descarga de fundo. Seguir corretamente essas diretrizes garante que a barragem funcione de maneira segura e eficiente, prevenindo falhas estruturais e mitigando riscos ambientais. A instrução correta e detalhada dos passos fornecidos facilita o processo e garante que o leitor, ao seguir as instruções, consiga executar a solução com êxito (Tomaz, 2012).

Para abordar a instalação e execução de sistemas de descarga de fundo em barragens, é necessário um planejamento minucioso que se baseie em diretrizes técnicas e normativas já condicionais (ABNT, 2017). Esses sistemas possuem um papel relevante na operação das barragens, pois facilitam o controle do escoamento de água, a remoção de sedimentos e a preservação da segurança estrutural (CONAMA, 2004).

A execução bem-sucedida desses sistemas não pode ser obtida de maneira superficial; ao contrário, exige uma compreensão detalhada dos processos envolvidos, dos materiais empregados, e das ferramentas utilizadas para que o sistema funcione de maneira otimizada e sem falhas (Tomaz, 2012).

O processo de instalação de um sistema de descarga de fundo inicia-se com a escolha dos materiais adequados. De acordo Tomaz (2012), tubulações de PVC são frequentemente recomendadas por sua resistência à corrosão e facilidade de aplicação. Essas tubulações devem ser selecionadas com base no cálculo cerâmico previamente, considerando a pressão e o fluxo de água que serão escolhidos pelo sistema. Além disso, válvulas esféricas e conectores de PVC são amplamente utilizados para garantir a flexibilidade do sistema, enquanto válvulas de pé com crivo desempenham um papel crítico na prevenção de entupimentos, permitindo a passagem controlada de água e evitando a entrada de sedimentos grosseiros no sistema (Tomaz, 2012; Abreu et al., 2018).

A preparação do terreno é outra etapa no processo de instalação, envolvendo limpeza e escavação para acomodação as tubulações. Essa requer precisão, pois o sistema de sifão invertido deve ser instalado em fases e com a especificação adequada, de modo a garantir o fluxo contínuo da água.



A medição dos níveis do terreno é uma prática essencial para evitar erros de instalação. O uso de mangueiras com água, conforme descrito por Silva et al. (2016), é um método eficaz para medir o nível do solo e ajustar a orientação da orientação. Esse método, além de simples, oferece soluções suficientes para garantir que o sifão fique posicionado corretamente, prevenindo problemas futuros como entupimentos e vazamentos.

Durante a fase de instalação, a montagem do sistema de sifão invertido deve seguir rigorosamente as orientações técnicas. Todos os componentes, incluindo tubos e válvulas, devem ser montados de forma precisa, obedecendo às especificações de pressão e vazão calculadas previamente. O manual do empreendedor (2024) detalha a importância de cortes adequados nas tubulações, realizando utilizando cuidados para garantir que as peças sejam perfeitamente alinhadas e conectadas. Qualquer desalinhamento ou falha na disposição pode resultar em vazamentos, comprometendo a eficiência do sistema. Além disso, uma verificação constante durante a instalação é recomendada para garantir que todas as instalações estejam bem ajustadas e fixas.

Após a montagem do sistema, é essencial realizar testes de eficiência, especialmente para verificar a vazão de água pelo sistema de descarga de fundo. O "teste do balde" é amplamente recomendado em manuais e estudos sobre descarga de fundo (Paulo et al., 2021), e consiste em medir o volume de água escoado durante um determinado período e compará-lo com os valores calculados anteriormente. Esse método, embora simples, é eficaz para verificar se o sistema está funcionando de acordo com o previsto. Para sistemas maiores ou mais complexos, o uso de medidores de vazão digitais pode ser uma alternativa mais precisa, fornecendo dados em tempo real sobre o desempenho do sistema (Dinini; Tabesh, 2014).

Manter o sistema de descarga de fundo em pleno funcionamento depende de uma rotina de manutenção regular. O acúmulo de sedimentos nas tubulações pode comprometer a eficiência do sistema, especialmente em barragens onde a remoção de sedimentos é uma preocupação constante. A limpeza periódica é, portanto, fundamental para prevenir entupimentos e garantir o fluxo de água (Rocha et al., 2018). Além disso, a inspeção das conexões e a verificação de possíveis vazamentos também devem fazer parte do cronograma de manutenção. Normas como a ABNT NBR 16496:2016 fornecem orientações detalhadas sobre como monitorar e operar sistemas de barragens, garantindo que os procedimentos corretos sejam seguidos para manter a longevidade e eficiência do sistema (ABNT, 2016).

A experiência internacional também oferece exemplos valiosos sobre a melhoria e manutenção de sistemas de descarga de fundo. Países como os Estados Unidos e a Espanha possuem normas rigorosas que excluem a instalação de dispositivos de descarga de fundo em novas barragens e até mesmo a adaptação de barragens existentes para incorporar esses sistemas (Maia, 2023). Essas legislações refletem a importância de se garantir a segurança estrutural das barragens, além de



contribuir para a proteção ambiental ao garantir que o fluxo de água e a remoção de sedimentos sejam administrados de forma eficaz. No Brasil, embora ainda não exista uma lei federal específica para a descarga de fundo, manuais e orientações da Agência Nacional de Águas (ANA) já recomendam a adoção de tais sistemas, com base em exemplos internacionais (Brasil, 2010; CONAMA, 2004).

O processo de instalação e manutenção de sistemas de descarga de fundo exige um planejamento cuidadoso e a observação constante das condições ambientais, como a variação no nível de água e a quantidade de sedimentos acumulados no reservatório. Ajustes periódicos podem ser necessários para garantir que o sistema continue funcionando de maneira eficiente ao longo do tempo. Sistemas mais avançados, como os que incorporam sensores de monitoramento, podem facilitar esse processo, permitindo que os operadores façam ajustes automáticos com base em dados em tempo real (Paulo et al., 2021).

Na última análise, a instalação de um sistema de descarga de fundo bem planejado e preservado proporciona benefícios significativos, tanto em termos de segurança estrutural quanto de preservação ambiental. A remoção eficiente de sedimentos evita o acúmulo de materiais que poderiam comprometer a integridade da barragem, enquanto o controle adequado da vazão de água contribui para a sustentabilidade dos ecossistemas ribeirinhos (Tomaz, 2012). A experiência acumulada em outros países mostra que a adoção de práticas semelhantes no Brasil poderia trazer avanços inovadores para o setor, especialmente no que diz respeito à segurança das barragens e à gestão de recursos hídricos.

No Brasil, o cenário atual é promissor, com a crescente adoção de diretrizes técnicas para a instalação e manutenção de sistemas de descarga de fundo. À medida que as normativas se tornam mais rigorosas e as práticas se alinham aos padrões internacionais, espera-se que o país avance na gestão eficiente de suas barragens, minimizando os riscos e maximizando os benefícios desses sistemas (Silva et al., 2016; Rocha et al., 2018).

Portanto, a execução de sistemas de descarga de fundo em barragens não é apenas uma questão técnica; envolve também um compromisso com a segurança, a preservação ambiental e o cumprimento de normas e regulamentações. A combinação de teoria e prática descrita neste artigo fornece um guia abrangente para a implementação desses sistemas, oferecendo uma solução eficiente e sustentável para a operação segura de barragens no Brasil e em outros contextos internacionais.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se apresentar visão completa e integrada sobre como solucionar os problemas de descarga de fundo em barragens. Através da combinação de teoria e prática, oferece-se ao leitor um guia que elimina a necessidade de recorrer a múltiplas fontes, concentrando em um único documento todas as informações e ferramentas necessárias para o cálculo e a instalação



adequados. O objetivo final é garantir que, ao seguir esse passo a passo, o profissional possa, de forma eficaz, atender às exigências normativas e operacionais das barragens no Brasil.

Assim, a importância de um sistema eficiente de descarga de fundo não pode ser subestimada. Ele desempenha um papel vital na operação segura de barragens, ajudando a evitar o acúmulo de sedimentos e garantindo o escoamento controlado das águas. Um sistema bem implementado também contribui para a sustentabilidade ambiental, preservando os ecossistemas a jusante da barragem.

Os resultados propiciam uma contribuição significativa para a implementação de soluções práticas e normativas no contexto das barragens brasileiras. Ao alinhar as metodologias descritas com as normas técnicas nacionais e internacionais, como as da ABNT, fornece um guia que atende a legislação vigente, ao mesmo tempo em que facilita a operação e manutenção dessas estruturas.

Além disso, as práticas descritas aqui são amplamente aplicáveis a outros contextos internacionais, conforme evidenciado por países como os Estados Unidos e a Espanha, que já adotaram regulamentações rigorosas sobre o uso de dispositivos de descarga de fundo. A adoção de soluções semelhantes em outros países reforça a necessidade de implementar dispositivos bem planejados e comprometidos, garantindo a integridade estrutural das barragens e contribuindo para uma gestão hídrica mais sustentável em nível global.



REFERÊNCIAS

- ABREU, Aline Saupe et al. Análise preliminar do alcance de remoção de sedimentos por descarregadores de fundo em pequenas barragens. In: Congresso Latinoamericano de Hidráulica. Buenos Aires, Instituto Nacional del Agua. 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/184432/001078959.pdf;sequence=1>. Acesso em: 24 out. 2024.
- ABREU, Aline Saupe. Análise experimental em modelo físico de estruturas hidráulicas de remoção de sedimentos em barragens: descarregadores de fundo. 2019. 166 f., il. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Pelos Rigo Grande do Sula/RS, Brasil, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/197881>. Acesso em: 24 out. 2024.
- AINON, Maurice. Remoção de sedimentos em reservatórios de barragens de usinas hidrelétricas através de descarga de fundo. 2018. 103 f., il. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre/RS, Brasil, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/184604>. Acesso em: 24 out. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12214:1992 – Projeto de sistemas de bombeamento de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13028:2017 – Construção e manutenção de barragens de terra. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15514:2007 – Dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16496:2016 – Monitoramento de barragens de rejeitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.
- BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens. Diário Oficial da União, Brasília, 21 set. 2010. Alterada pela Lei 14.066/2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. Acesso em: 24 out. 2024.
- CAMPOS, Bruno Silva. Análise do comportamento dos coeficientes de descarga em sistemas de sifão. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/anais>. Acesso em: 24 out. 2024.
- CAMPOS, Eduardo et al. Experimental study of pressure flushing of non-cohesive sediment through slotted pipe bottom outlet. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-017-177>. Acesso em: 24 out. 2024.



CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 344, de 25 de março de 2004. Estabelece diretrizes e procedimentos mínimos para a avaliação de sedimentos a serem dragados. Diário Oficial da União, Brasília, 26 mar. 2004. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=432>. Acesso em: 24 out. 2024.

DINI, Mehdi; TABESH, Massoud. A new method for simultaneous calibration of demand pattern and Hazen-Williams coefficients in water distribution systems. *Water resources management*, v. 28, p. 2021-2034, 2014.

MAIA, Katia Távora. Segurança de barragens: um estudo da legislação ambiental. *Portal de Trabalhos Acadêmicos*, v. 15, n. 2, 2023. Disponível em: <https://revistas.faculdedamas.edu.br/index.php/academico/article/view/3050>. Acesso em: 24 out. 2024.

MANZO, Abelardo J. et al. Manual para la preparación de monografías: una guía para presentar informes y tesis. Buenos Aires: Humanitas, 1971.

PAULO, Felipe Azevedo et al. Experimental study of pressure flushing of non-cohesive sediment through slotted pipe bottom outlet. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 26, p. e01, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/Rm7zgxsQBQSKwZP4PFkXVNK/>. Acesso em: 24 out. 2024.

PEREIRA, Ludmilla Freitas. Segurança de barragens no Brasil: um breve comparativo com a legislação internacional e análise da influência da cobertura do solo de APPs sobre manchas de inundação: estudo de caso da PCH Pedra Furada em Ribeirão/PE. 2019. 128 f., il. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, Pernambuco, Brasil, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/183530/pereira_lf_me_ilha.pdf?sequence=3. Acesso em: 24 out. 2024.

ROCHA, Victor Oliveira Dias et al. Importância da descarga de fundo em barragens. XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió - AL, 2018. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/works/4635>. Acesso em: 24 out. 2024.

SILVA, João Carlos et al. Remoção de sedimentos em reservatórios de barragens de usinas hidrelétricas através de descarga de fundo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/154645>. Acesso em: 24 out. 2024.

SILVA, Luiz Claudio. Avaliação de risco de acidentes em barragens de contenção de água: uma contribuição para a gestão de segurança de barragens no Brasil. 2023. 153 f., il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.bdt.uerj.br:8443/handle/1/20290>. Acesso em: 24 out. 2024.

TOCANTINS (Estado). Decreto nº 2.432, de 6 de junho de 2005. Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos. Diário Oficial do Estado de Tocantins, Palmas, 2005. Disponível em: <https://site.tocantins.gov.br>. Acesso em: 24 out. 2024.

TOMAZ, Plínio. Sifão. In: Curso de Manejo de Águas Pluviais. Navegas. 2012.

