v7.n8.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

MEDIDAS ESTRUTURAIS AUTOELEVÁVEIS NA MITIGAÇÃO DE RISCOS HIDROLÓGICOS: O CASO RIO DOCE (GOVERNADOR VALADARES/MG)

SELF-CLOSING STRUCTURAL MEASURES FOR HYDROLOGICAL RISK MITIGATION: THE RIO DOCE CASE (GOVERNADOR VALADARES/MG)

MEDIDAS ESTRUCTURALES AUTOELEVABLES PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS HIDROLÓGICOS: EL CASO RÍO DOCE (GOVERNADOR VALADARES/MG)

Danilo Bruner Lopes Barbosa[1], Fábio Monteiro Cruz[2], Carolina Gonçalves Bessa[3]

e788819
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i8.8819

PUBLICADO: 08/2026

RESUMO

O Município de Governador Valadares (MG) sofre historicamente com inundações severas do Rio Doce, resultando em expressivos danos socioeconômicos. Atualmente, a gestão de desastres hidrológicos baseia-se predominantemente em medidas não estruturais, como sistemas de alerta. Visando suprir a necessidade de intervenções físicas que preservem a conectividade e a paisagem urbana, este estudo analisa a viabilidade técnica, hidráulica e estrutural da implementação de barreiras autoeleváveis (*Self-Closing Flood Barriers* - SCFB) no trecho ribeirinho da cidade. A metodologia englobou modelagem hidrodinâmica (1D) no HEC-RAS para simular cenários e cotas de proteção em Tempos de Retorno (TR) de 2 a 50 anos. Avaliou-se também a estabilidade estrutural preliminar sob esforços hidrostáticos, fundamentando-se nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE). Os resultados demonstram que barreiras com 1,60 m de altura apresentam desempenho satisfatório para eventos frequentes (TR 2 e 5 anos). No cenário crítico de 50 anos, a simulação indicou um potencial de proteção direta de 81 hectares, que pode ser ampliado para até 432 hectares mediante adequação altimétrica e integração com sistemas de microdrenagem. A verificação estrutural indicou, em caráter preliminar, atendimento aos critérios considerados para o mecanismo de acionamento passivo por empuxo e para resistência aos carregamentos. Conclui-se que a adoção das barreiras SCFB apresenta viabilidade técnica preliminar, demonstrando potencial para a redução de prejuízos locais. Contudo, sua eficácia plena exige a atuação sistêmica com a rede de drenagem municipal, por meio de estações de bombeamento e válvulas antirrefluxo, para evitar alagamentos internos.

PALAVRAS-CHAVE: Desastres Hidrológicos. Medidas Estruturais. Barreiras Autoeleváveis Contra Enchentes.

ABSTRACT

The municipality of Governador Valadares (MG) has historically suffered from severe floods of the Rio Doce, resulting in significant socioeconomic damage. Currently, hydrological disaster management relies predominantly on non-structural measures, such as early warning systems. Aiming to address the need for physical interventions that preserve urban connectivity and landscape, this study analyzes the technical, hydraulic, and structural feasibility of implementing Self-Closing Flood Barriers (SCFB) along the city's riverfront. The methodology encompassed 1D hydrodynamic modeling using the HEC-RAS software to simulate scenarios and protection elevations for Return Periods (RP) ranging from 2 to 50 years. A preliminary structural stability analysis under hydrostatic loads was also conducted, based on the standards of the Brazilian

[1] Bacharel em Ciências Militares, Gestão e Prevenção de Catástrofes (CBMMG); Graduando em Engenharia Civil (IFMG).
[2] Doutor em Recursos Hídricos (SMARH/UFMG).
[3] Mestre em Engenharia Hidrogeológica (PUC Minas).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Association of Technical Standards (ABNT) and guidelines from the U.S. Army Corps of Engineers (USACE). The results demonstrate that 1.60-meter-high barriers provide satisfactory effectiveness for frequent events (2 and 5-year RPs). Under the critical 50-year scenario, the simulation indicated a direct protection potential of 81 hectares, which can be expanded to up to 432 hectares through local elevation adjustments and integration with micro-drainage systems. Preliminary structural analyses demonstrated that the proposed system satisfies the requirements for passive buoyancy activation while maintaining adequate structural capacity under the expected loads. It is concluded that the adoption of SCFB shows preliminary technical feasibility, demonstrating potential for reducing local damage. However, its full effectiveness requires systemic operation with the municipal drainage network, utilizing pumping stations and non-return valves to prevent internal flooding.

KEYWORDS: *Hydrological Disasters. Structural Measures. Self-Closing Flood Barriers.*

RESUMEN

Governador Valadares (MG) sufre históricamente graves inundaciones del Río Doce, lo que resulta en significativos daños socioeconómicos. Actualmente, la gestión de desastres hidrológicos se basa predominantemente en medidas no estructurales, como los sistemas de alerta. Con el objetivo de suplir la necesidad de intervenciones físicas que preserven la conectividad y el paisaje urbano, este estudio analiza la viabilidad técnica, hidráulica y estructural de la implementación de barreras autoelevables (SCFB) en el tramo ribereño de la ciudad. La metodología incluyó el modelado hidrodinámico (1D) en software HEC-RAS para simular escenarios y cotas de protección en Tiempos de Retorno (TR) de 2 a 50 años. También se evaluó la estabilidad estructural preliminar bajo esfuerzos hidrostáticos, fundamentándose en las normas de la ABNT y en las directrices del USACE. Los resultados demuestran que las barreras de 1,60 m de altura presentan un desempeño satisfactorio para eventos frecuentes. En el escenario crítico de 50 años, la simulación indicó un potencial de protección directa de 81 hectáreas, que puede ampliarse hasta 432 hectáreas mediante adecuaciones altimétricas e integración con sistemas de microdrenaje. El análisis estructural preliminar confirmó la viabilidad del accionamiento pasivo por flotación y la resistencia estructural frente a las cargas previstas. Se concluye que la adopción de las barreras SCFB presenta viabilidad técnica preliminar, demostrando potencial para la reducción de daños locales. Sin embargo, su plena eficacia exige una actuación sistémica con la red de drenaje municipal, mediante estaciones de bombeo y válvulas antirretorno, para evitar inundaciones internas.

PALABRAS CLAVE*: Desastres Hidrológicos. Medidas Estructurales. Barreras Autoelevables contra Inundaciones.*

1. INTRODUÇÃO

A bacia do Rio Doce caracteriza-se por uma dinâmica hidrológica marcada por eventos extremos, onde o município de Governador Valadares, em Minas Gerais, ocupa uma posição de vulnerabilidade histórica, abrangendo trechos fluviais classificados como de alta suscetibilidade a inundações (ANA, 2023a; CPRM, 2004, p. 16-17). Devido à sua topografia e ocupação urbana consolidada às margens do rio, a cidade sofre periodicamente com enchentes que resultam em danos socioeconômicos severos, interrupção de serviços essenciais e riscos à saúde pública, conforme evidenciado nos dados de danos e prejuízos, extraídos do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) (BRASIL, 2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Visando promover medidas preventivas contra desastres hidrológicos, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce) desenvolveu, em 2024, o modelo de simulação hidráulica para previsão de vazões e níveis fluviais considerando diferentes tempos de retorno. Essa ferramenta permite diagnosticar os impactos de enchentes e inundações ao longo de todo o Rio Doce, incluindo os bairros ribeirinhos de Governador Valadares, os quais serão alvo deste estudo. Esses dados são compartilhados com o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e podem ser consultados em tempo real por meio do website do serviço (CBH-Doce, 2024).

Dessa forma, a gestão de cheias em Governador Valadares fundamenta-se predominantemente em medidas não estruturais, como os sistemas de monitoramento e alerta, evidenciando um desequilíbrio em relação às intervenções físicas de contenção. Conforme preconiza Tucci (2007), a eficácia do manejo de inundações reside na complementaridade entre ações estruturais e não estruturais. Contudo, no contexto local, a ausência de barreiras físicas torna o aparato preventivo insuficiente para mitigar os danos recorrentes na malha urbana às margens do rio, ressaltando a necessidade de soluções integradas que transcendam a mera comunicação do evento adverso.

Tradicionalmente, o manejo de cheias no Brasil tem focado em medidas estruturais fixas, como diques e muros de contenção em concreto armado, que, embora eficazes, frequentemente geram impactos visuais negativos e segregam a população do leito fluvial (Herzog, 2013). Além disso, tais barreiras dificultam a drenagem de águas pluviais internas, podendo criar bacias de acumulação indesejadas dentro da própria área protegida (Tucci, 2007). Diante dessas limitações, as barreiras retráteis passam a ser uma alternativa técnica favorável.

Nesse contexto, destacam-se as barreiras autoeleváveis. Diferente de sistemas eletromecânicos e pneumáticos, essas estruturas utilizam os Princípios de Arquimedes e Stevin para o acionamento: o próprio aumento do nível d'água preenche uma câmara de serviço, gerando empuxo suficiente para elevar a barreira. A viabilidade preliminar dessa solução é corroborada por aplicações bem-sucedidas em escala global, especialmente na Holanda e Reino Unido, onde sistemas de barreiras autoeleváveis (conhecidos internacionalmente como *Self-Closing Flood Barriers*) constituem alternativas eficazes para proteção urbana (AGGERES, 2021; Mugesh *et al.*, 2015; Zevenbergen *et al.*, 2010).

Tais exemplos internacionais sugerem a transição de métodos convencionais para sistemas dinâmicos. A aplicação desse modelo visa conciliar a proteção hidrológica com a preservação da paisagem e da conectividade urbana de Governador Valadares, apresentando potencial para mitigar os recorrentes danos socioeconômicos no município.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Portanto, o presente trabalho verificará a aplicabilidade de sistemas difundidos internacionalmente à realidade e às normas locais. Para isso, a pesquisa apoiou-se em modelagem hidrodinâmica 1D, alimentada por dados altimétricos e hidrológicos oficiais disponibilizados pelo CBH-Doce, simulando cotas de proteção para Tempos de Retorno (TR) de 2 a 50 anos. Complementarmente, procedeu-se a uma verificação estrutural preliminar do sistema frente a esforços hidrostáticos, fundamentada nas diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

1.1. Objetivos

Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo geral analisar, em caráter exploratório, a viabilidade técnica, o desempenho hidrodinâmico e a integridade estrutural de barreiras autoeleváveis como medida estratégica de mitigação de riscos hidrológicos no trecho urbano do Rio Doce, em Governador Valadares/MG. O propósito é avaliar a aplicabilidade dessa tecnologia na contenção de cheias históricas, verificando seu comportamento simulado frente às solicitações hidrostáticas e hidrodinâmicas, ao mesmo tempo em que se busca promover a preservação da paisagem urbana e a resiliência da infraestrutura municipal.

Objetivos Específicos

- Identificar e mapear os pontos críticos sujeitos à inundação que demandam a implementação das barreiras retráteis, adotando uma altura de contenção de referência para avaliar o potencial de mitigação nos trechos monitorados.
- Proceder ao pré-dimensionamento de cargas e critérios para estabilidade local e global da estrutura de contenção e dos principais componentes do sistema SCFB (painel de contenção e câmara de serviço), considerando os esforços solicitantes e resistentes.
- Realizar análise preliminar simplificada do mecanismo de acionamento autônomo, calculando o equilíbrio entre a força de empuxo gerada pelo preenchimento da câmara e o peso próprio da estrutura, objetivando a operabilidade passiva do sistema.
- Realizar uma análise comparativa simplificada entre a solução de barreiras autoeleváveis, barreiras eleváveis com acionamento eletromecânico e pneumático e as medidas estruturais fixas convencionais, sob o prisma da eficiência técnica, integração urbanística e resiliência a desastres.

1.2. Justificativa

A recorrência de eventos hidrológicos extremos na bacia do Rio Doce impõe a Governador Valadares um estado de alerta constante, com impactos que ultrapassam os limites

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

físicos das margens fluviais. Isso faz com que o município integre o rol de polos monitorados pelo Sistema de Alerta de Eventos Críticos - SACE (CPRM, 2026). Diante disso, há necessidade de evolução das estratégias de gestão de riscos de desastres no município, pautando-se na confiabilidade estrutural dos meios de contenção, implementação de tecnologias modernas de engenharia e simulação de cenários em softwares. A análise desse conjunto de fatores implica redução de danos e prejuízos ocasionados por desastres hidrológicos na área de estudo sem prejudicar a drenagem pluvial, conforme boas práticas de engenharia citadas por Tucci (2007) e Canholi (2005).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico — ANA (2023b), em um estudo feito entre 2000 e 2019, o município de Governador Valadares figura entre os quatro que mais sofreram com danos e prejuízos oriundos de cheias do Rio Doce. Somente esses quatro municípios somaram perdas equivalentes a 18,7% do dispêndio de toda a bacia. Então, notoriamente, o município desempenha um papel significativo em termos de impactos socioeconômicos oriundos de desastres hidrológicos.

Do ponto de vista da engenharia dos mecanismos, a substituição de componentes fixos ou eletromecânicos por sistemas baseados no empuxo hidrostático reduz a probabilidade de falha operacional. Em cenários de desastres, a interrupção no fornecimento de energia e a dificuldade de acesso às equipes de manutenção são variáveis críticas. A barreira autoelevável justifica-se por ser uma tecnologia de segurança passiva, em que a própria fonte do risco, o aumento do nível do rio, fornece a energia necessária para o acionamento da defesa, reduzindo a probabilidade de erro humano e o tempo de resposta logístico (Jhinkoe-Rai, 2024).

Sob a perspectiva da Defesa Civil, a proposta alinha-se ao Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres (UNDRR, 2015), acordo proposto pela Organização das Nações Unidas visando aumentar a resiliência global frente aos desastres naturais. Nesse viés, a instalação dessas barreiras em pontos críticos mapeados pelo SACE permite uma transição do gerenciamento de emergência para a preservação da integridade infraestrutural, conforme preconiza a Lei Federal nº 12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC).

Como resultado, a adoção das barreiras como medidas de proteção contribui para a continuidade de serviços essenciais durante eventos críticos e para a redução dos Danos e Prejuízos (D&P) mencionados nos Relatórios de Eventos de Defesa Social (REDS) e S2iD. Isso permite otimizar a aplicação de recursos públicos além do aumento da resiliência urbana local.

Portanto, a relevância deste estudo reside na convergência entre a engenharia estrutural e a gestão estratégica de riscos. Ao avaliar soluções dinâmicas de proteção, o trabalho propõe

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

uma abordagem complementar às obras de contenção tradicionais, com o objetivo de contribuir para a mitigação dos impactos socioeconômicos em áreas de alta vulnerabilidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Dinâmica hidrológica e gestão de cheias em Governador Valadares

Historicamente, o regime pluviométrico da Bacia do Rio Doce apresenta forte sazonalidade, com precipitações concentradas entre os meses de outubro e março. Esse cenário hidrológico a montante resulta em elevações bruscas do nível fluvial em Governador Valadares. A cidade acumula um longo histórico de eventos extremos, com destaque para as grandes cheias de 1979 (a maior já registrada no município), 1997, 2012 e, mais recentemente, 2022 (CPRM, 2026).

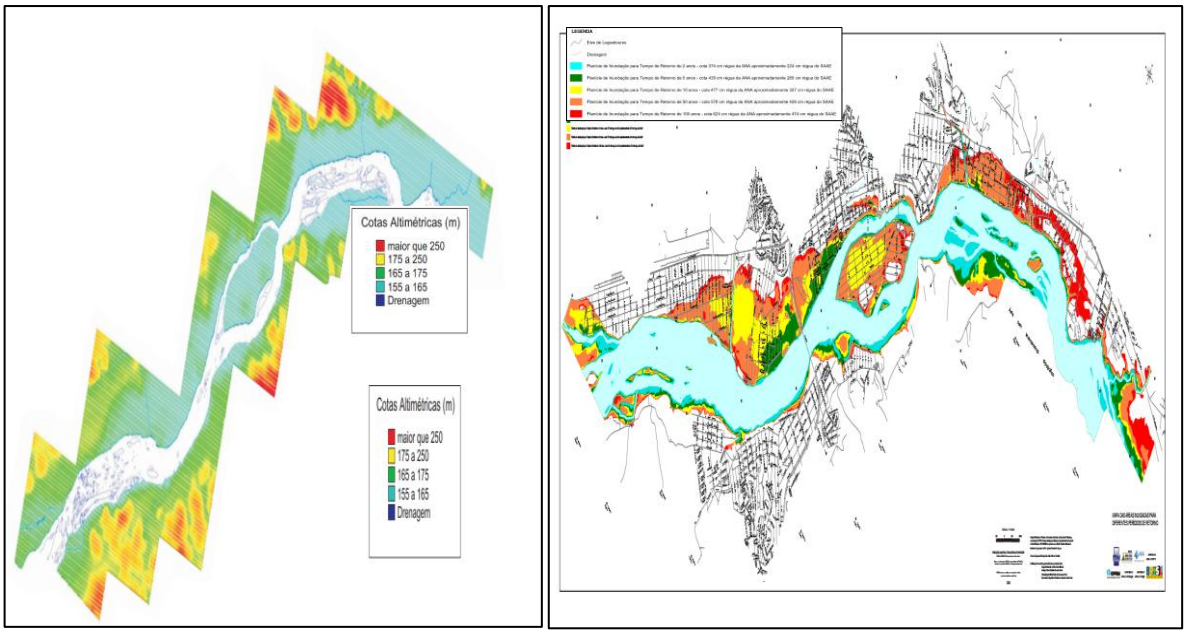
A configuração geomorfológica e o processo de expansão urbana de Governador Valadares são fatores determinantes para a sua vulnerabilidade hidrológica histórica. O município é seccionado pelo Rio Doce, cujo traçado meândrico divide a cidade em duas realidades topográficas distintas. A margem direita, caracterizada pela presença do Pico da Ibituruna, confere cotas topo-altimétricas médias ligeiramente mais acentuadas, limitando a expansão da mancha de inundação (CBH-Doce, 2024).

Em contrapartida, a margem esquerda, a qual concentra o centro comercial e bairros densamente povoados (IBGE, 2023), como Santa Rita, São Paulo, São Pedro e Ilha dos Araújos, desenvolveu-se diretamente sobre a planície de inundação natural do rio. Essa topografia plana, com declividade quase nula em direção à calha principal, facilita o avanço rápido das águas sobre a malha urbana durante os períodos de cheia (CPRM, 2004). A

Figura **1** ilustra a diferença entre as cotas topo-altimétricas entre as margens e seu reflexo sobre a área de inundação para os tempos de retorno de 2 a 100 anos.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Cotas topo-altimétricas e áreas inundáveis



Fonte: CPRM (2004).

Ressalta-se que, nos bairros supracitados, os alagamentos são severamente agravados pelo efeito remanso provocado pelas cheias do Rio Doce. Conforme descrito por Tucci (2007) e Canholi (2005), a elevação do nível no corpo receptor pode causar o “afogamento dos exutórios” da microdrenagem antes mesmo do galgamento das margens. Dessa forma, quando a cota do rio ultrapassa a cota das galerias municipais, a água perde a capacidade de escoamento por gravidade e passa a fluir no sentido inverso; esse refluxo invade as vias urbanas por meio de poços de visita e outras estruturas de captação. O diagnóstico do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Governador Valadares reconhece esta vulnerabilidade, evidenciando que a proteção da cidade exige não apenas a contenção superficial na calha do rio, mas também o bloqueio hidráulico das tubulações subterrâneas (GOVERNADOR VALADARES, 2015).

Atualmente, o enfrentamento desse cenário apoia-se predominantemente em medidas não estruturais, com ênfase no monitoramento hidrológico. A gestão de crise baseia-se nos dados da Estação Fluviométrica de Governador Valadares (Código 56850000), operada pelo CPRM, com dados disponibilizados ao Serviço de Água e Esgoto de Governador Valadares (SAAE). Esse sistema define limiares operacionais que subsidiam a atuação da Defesa Civil,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

conforme Plano de Contingência do Município, o qual correlaciona hipóteses e ações públicas contingenciais (GOVERNADOR VALADARES, 2021).

Verifica-se que, embora a gestão atual de enchentes no município seja eficaz para a evacuação de pessoas e preservação de vidas, a cidade carece de mecanismos físicos para impedir que a água tome as ruas e edificações após o Rio Doce atingir a cota de inundação. A ausência de intervenções físicas consolidadas deve-se, em grande parte, à incompatibilidade de medidas estruturais fixas (como muros de concreto contínuos) com a estética, a mobilidade e o planejamento urbano do município. É exatamente nesta lacuna operacional — entre a emissão do alerta e a concretização do dano — que a implementação de barreiras físicas autoeleváveis se justifica como a solução técnica potencial para permitir a estanqueidade urbana sem comprometer a dinâmica paisagística de Governador Valadares.

2.2. Medidas não estruturais vs medidas estruturais

Conforme a classificação de Canholi (2005) corroborada por Tucci (2007), as estratégias de mitigação de cheias dividem-se em medidas estruturais e não estruturais. As primeiras compreendem intervenções de engenharia destinadas a modificar o sistema hidrológico, visando a correção e prevenção de impactos diretos. Dentre as medidas estruturais destacam-se os diques, pôlderes, canais, barragens de detenção, entre outros. Por outro lado, ainda segundo os autores supracitados, as medidas não estruturais buscam reduzir a vulnerabilidade socioambiental sem o emprego de obras físicas. Tais medidas fundamentam-se em instrumentos normativos e educativos, como o ordenamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alerta e o fomento à conscientização pública para a preservação das infraestruturas de drenagem.

Sob a perspectiva econômica, a literatura destaca uma disparidade considerável entre os custos de implementação. Enquanto as medidas não estruturais são reconhecidamente de baixo custo inicial e alta replicabilidade, as medidas estruturais demandam investimentos vultosos de capital. Contudo, conforme aponta a revisão do Plano Integrado de Recursos Hídricos do Rio Doce (PIRH Doce), estima-se a alocação de aproximadamente R$ 33 milhões anuais em medidas não estruturais até o ano de 2042, totalizando mais de R$ 672 milhões em toda a bacia (ANA, 2023b).

Em contrapartida, os dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) evidenciam que a ausência de intervenções físicas em áreas urbanas consolidadas gera gastos recorrentes. Apenas no município de Governador Valadares, no período de 2020 a 2026, os desastres hidrológicos (como inundações e tempestades) acarretaram cerca de R$ 67 milhões em prejuízos econômicos diretos nos setores público e privado. Além do impacto financeiro, o

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

custo social é expressivo, registrando-se no mesmo período mais de 42.400 desalojados e 1.200 desabrigados na cidade (BRASIL, 2026), ressaltando a urgência de obras físicas de contenção.

Tanto as medidas estruturais quanto as não estruturais são componentes essenciais da Gestão de Risco de Desastres (GRD), ou seja, estão atreladas à prevenção de desastres hidrológicos. Nesse sentido, segundo o *National Institute of Building Sciences* (NIBS, 2019), referência técnica da Organização das Nações Unidas (ONU), a lógica econômica da prevenção é inequívoca: cada dólar investido na redução de riscos de enchentes pode gerar uma economia de até sete dólares que seriam gastos em respostas às emergências e reconstrução. A literatura nacional reforça essa premissa de forma ainda mais contundente, sugerindo que, dependendo do cenário, a aplicação de um real em prevenção pode mitigar prejuízos na ordem de centenas de reais (ANA, 2024; BRASIL, 2024). Portanto, do ponto de vista econômico, é mais viável investir em medidas de gestão de risco do que em medidas reparatórias.

2.3. Comparativo entre barreiras de contenção de enchentes

As estruturas fixas, a exemplo de diques e muros de contenção, caracterizam-se por sua permanência e robustez na oferta de proteção contínua. Contudo, conforme advertem Tucci (2007) e Canholi (2005), tais intervenções podem gerar externalidades negativas significativas, tais como o comprometimento da microdrenagem, visto que obstruem o escoamento de águas pluviais e convertem o risco de inundação fluvial em alagamentos urbanos, e o elevado custo de implementação, decorrente da necessidade de desapropriações onerosas e grandes áreas de servidão em centros consolidados. Além disso, segundo Herzog (2013) a segregação paisagística também é um fator crítico ao operar esse tipo de medida de contenção.

Diante dessas limitações inerentes às obras permanentes, verifica-se o potencial de transição tecnológica para alternativas dinâmicas, como as medidas estruturais móveis/retráteis. Em síntese, as barreiras de contenção de projeção temporária podem ser móveis, desmontáveis ou autoeleváveis. As barreiras móveis utilizam sistemas mecânicos, eletromecânicos, pneumáticos ou hidráulicos, já as barreiras desmontáveis são aquelas comumente utilizadas por órgãos de segurança pública para controle emergencial, enquanto as barreiras autoeleváveis utilizam o empuxo para fechamento sob demanda (Jhinkoe-Rai, 2024).

2.3.1. Barreiras autoeleváveis

Os sistemas autoeleváveis representam um avanço tecnológico significativo em termos de resiliência urbana contra enchentes. Diferente dos demais sistemas apresentados nas subseções anteriores, barreiras de autofechamento operam passivamente por empuxo. Dessa forma, a comporta flutua sobre uma câmara à medida que o nível d'água aumenta e a vedação complementar é feita com materiais poliméricos de alta resistência (HYFLO BV, 2021; Jhinkoe-

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Rai, 2024; Zevenbergen *et al.*, 2010). Além disso, as obras de escavação são significativamente menores se comparadas com os demais sistemas móveis por não haver necessidade de instalação de casa de máquinas.

Comparativo entre barreiras móveis/retráteis

A avaliação qualitativa apresentada pela Hyflo BV (2021 apud Jhinkoe-Rai, 2024) contrapõe as características operacionais e econômicas das barreiras autoeleváveis (SCFB) aos sistemas temporários convencionais. De acordo com o levantamento, as barreiras móveis e desmontáveis apresentam maior suscetibilidade a limitações relacionadas ao tempo de resposta, à dependência de energia elétrica e à necessidade de mobilização de mão de obra durante intempéries. Em contrapartida, o acionamento passivo das SCFB tende a mitigar essas variáveis operacionais, apresentando também menor interferência no trânsito urbano. Sob a perspectiva financeira, constata-se que o sistema autoelevável demanda um custo de aquisição inicial mais elevado. Contudo, essa característica é contrabalançada pela redução das exigências logísticas contínuas, como espaço de armazenamento, transporte, operação manual e treinamento de equipes contingenciais, sugerindo uma otimização dos custos de manutenção a longo prazo.

Ressalta-se que, apesar da existência de estudos sobre o conceito e o comportamento estrutural de barreiras autoeleváveis, observa-se uma disponibilidade limitada de literatura científica revisada por pares dedicada especificamente à confiabilidade operacional e aos mecanismos de falha. Estudos diretamente relacionados à tecnologia abordam principalmente seu princípio de funcionamento, concepção estrutural e viabilidade de aplicação (Mugesh *et al.*, 2015; Jhinkoe-Rai, 2024). Aspectos específicos relacionados à confiabilidade do processo de fechamento foram explorados por Jhinkoe-Rai (2024), mediante análise por árvore de falhas. Entretanto, avaliações sistemáticas de mecanismos como galgamento, estanqueidade, impacto de detritos, sedimentação, degradação e manutenção permanecem pouco representadas na literatura acadêmica específica sobre SCFB. Dessa forma, os dados apresentados nesta subseção devem ser confrontados com cautela técnica, visto que derivam predominantemente de avaliações qualitativas de cunho comercial e requerem validação empírica rigorosa em cenários reais de inundação.

2.4. Funcionamento das barreiras autoeleváveis (Self-Closing Flood Barriers - SCFB)

O funcionamento das barreiras SCFB divide-se em quatro fases, sendo elas: estado inicial, no qual a comporta permanece totalmente aberta sem esforços hidrostáticos; fase de fechamento, na qual a comporta se eleva gradualmente de acordo com o nível d'água; fase de retenção, na qual a barreira resiste aos esforços hidrostáticos, impedindo a inundação; e fase de abertura, na qual a comporta flutuante desce à medida que o nível do rio também volta à

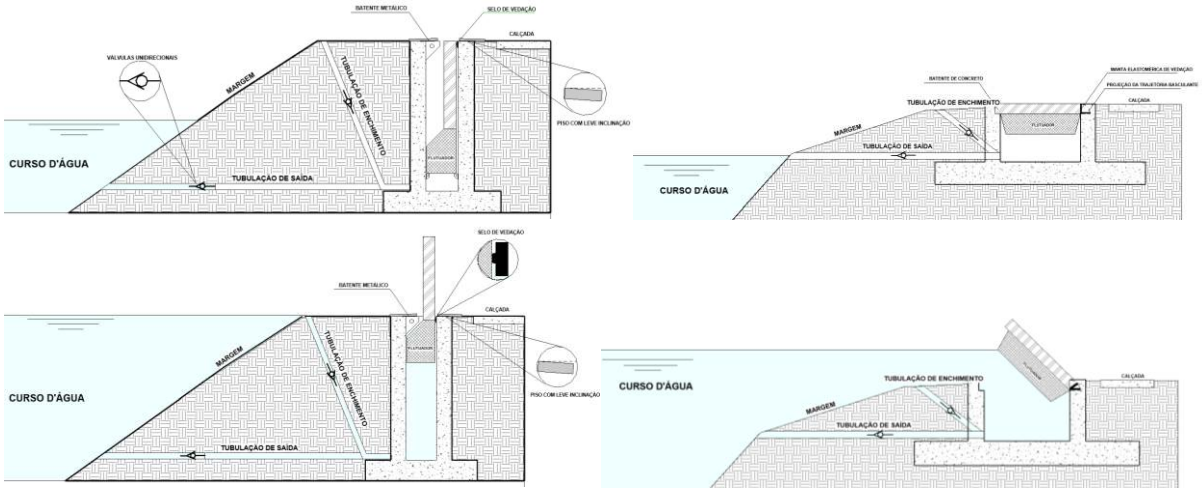
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

normalidade (Jhinkoe-Rai, 2024). Destaca-se que as tubulações, válvulas unidirecionais e mecanismos de acionamento são adaptados de acordo com a realidade local. Nesse sentido, destaca-se que, em cenários onde o desnível topográfico entre o curso d'água e a cota de proteção é insuficiente para viabilizar o escoamento por gravidade, dificultando a fase de fechamento, a adoção de barreiras autoeleváveis horizontais (basculantes) apresenta-se como a solução técnica mais recomendada.

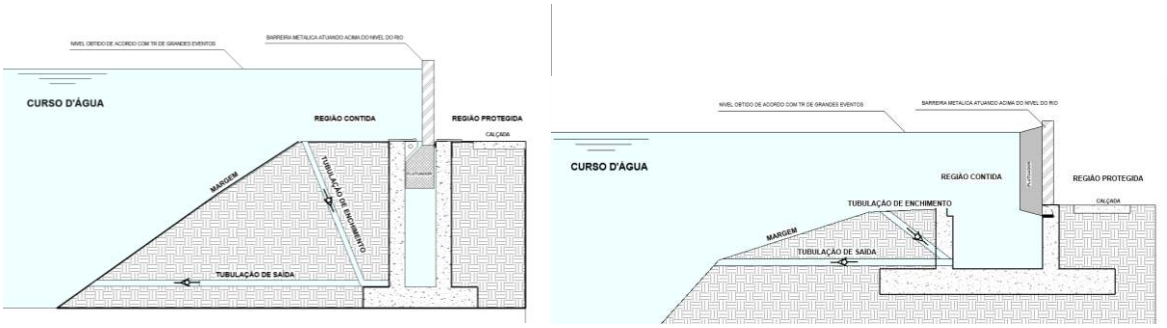
Entre os painéis das barreiras são previstos selos de neoprene, utilizados também em determinados pontos de contato entre os componentes, com a finalidade de contribuir para a estanqueidade e acomodar pequenas irregularidades e movimentações relativas entre os elementos. Segundo Erbisti (2014), o neoprene apresenta características adequadas para aplicações sujeitas à exposição às intempéries, justificando sua utilização como material de vedação nos pontos de interface da estrutura.

Além disso, para se evitar que detritos entupam a tubulação, são adicionadas grades metálicas na entrada dos condutos. Ressalta-se que todo o sistema depende do enchimento das câmaras, logo verificações regulares devem ser feitas para garantir o não entupimento do conjunto. Em casos emergenciais, a barreira pode ser elevada pela aplicação de água por meio de um caminhão pipa ou semelhante. Adicionalmente, de forma a se evitar o travamento da barreira em função dos esforços laterais, as comportas deslizam por trilhos, guias ou rolamentos, os quais auxiliam mecanicamente a fluidez do sistema (Jhinkoe-Rai, 2024). A Figura 2 ilustra as etapas de operação das barreiras vertical e horizontal.

Figura 2. Fases de operação da barreira autoelevável – vertical e horizontal



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



Fonte: HYFLO BV (2021) e Jhinkoe-Rai (2024), adaptado pelo autor.

2.5. Análise de cargas e critérios para estabilidade estrutural

O dimensionamento de uma barreira contra inundações, em especial as de tipologia autoelevável, requer uma análise rigorosa da interação fluido-estrutura. A formulação matemática e física para o cálculo desses esforços fundamenta-se nos princípios clássicos da Mecânica dos Fluidos, Mecânica dos Solos, e Resistência dos Materiais.

As principais cargas que atuam sobre o sistema SCFB são o empuxo hidrostático, o empuxo do solo, a subpressão e o peso próprio da estrutura, que se apresentam como cargas distribuídas. A resultante dessas cargas é numericamente igual à área das figuras dos esforços. Conforme elucidado por Fox e McDonald (2018) a pressão exercida por um fluido em repouso aumenta linearmente com a profundidade. Em uma barreira de contenção vertical, essa pressão apresenta uma distribuição triangular ao longo da altura da lâmina d'água retida, gerando uma força resultante aplicada a um terço da base da barreira (Erbisti, 2014).

De acordo com Gerscovich, Danziger e Saramago (2016), em aplicações práticas, o empuxo do solo atua de maneira análoga ao empuxo hidrostático. Segundo as teorias clássicas de Coulomb e Rankine, adotadas pelos autores supracitados, a tensão lateral no solo acarreta uma distribuição triangular de pressão, com força resultante localizada a um terço da base em relação ao ângulo reto.

Ressalta-se, entretanto, que, diferentemente do empuxo hidrostático, o empuxo de terra depende das propriedades geotécnicas do material, como ângulo de atrito interno, coesão e condições de deformabilidade, podendo ainda ser influenciado pela presença de água nos vazios do solo.

Em contrapartida, o empuxo sobre a base do flutuador, o peso próprio da câmara de concreto e a pressão da coluna d'água sobre o piso interno da câmara apresentam distribuição uniforme, podendo ser representadas por cargas distribuídas retangulares, com carga equivalente concentrada situada no eixo de simetria. Finalmente, a carga oriunda da subpressão

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

em solos saturados implica distribuição trapezoidal na base da câmara de concreto, com força resultante situada no centroide dessa figura.

Nesse contexto, o sistema precisa suportar os esforços solicitantes, sem que haja possibilidade de comprometimento estrutural. Segundo Hibbeler (2010), a operabilidade e a integridade dos componentes exigem a verificação de cenários de falha local e global, fundamentada na teoria das estruturas. A estabilidade local envolve a verificação dos diagramas de esforços normais, momento fletor, cisalhamento, além das deformações associadas, enquanto a estabilidade global refere-se à verificação de todo o conjunto subterrâneo contra os esforços de tombamento/excentricidade, deslizamento, afundamento e subpressão.

Destaca-se que, no âmbito nacional, as cargas de projeto obtidas por métodos analíticos ou computacionais devem seguir as combinações e coeficientes de segurança exigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As principais normativas aplicáveis a esse dimensionamento são: NBR 8681:2025 (Ações e segurança nas estruturas); NBR 8800:2024 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto); NBR 6118:2023 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento); NBR 14762:2020 (Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio), e NBR 11682:2009 (Estabilidade de encostas). Acrescenta-se que, para fins de parametrização de softwares internacionais de análise estrutural, será adotada de maneira complementar a normativa europeia Eurocode 3, que dispõe sobre projeto de estruturas metálicas.

3. METODOLOGIA

A área de estudo compreende o trecho urbano de Governador Valadares sujeito a desastres hidrológicos vinculados à elevação do nível do Rio Doce. O estudo utilizou modelagem hidráulica em software desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) para simulações hidráulicas após a aplicação de barreiras em áreas propostas. Para isso, foram consideradas as cheias com Tempos de Retorno (TR) de 2, 5, 10, 25 e 50 anos**.** Os resultados de pressão hidrostática obtidos foram exportados para a verificação de tensões nos elementos estruturais; essa análise foi subsidiada por softwares amplamente difundidos no mercado brasileiro e internacional. O embasamento matemático para a estabilidade estrutural do sistema submetido às cargas hidrostáticas foi feito comparando-se os esforços solicitantes e resistentes, conforme prevê a ABNT.

3.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo compreende a planície de inundação do Rio Doce no perímetro urbano de Governador Valadares, tomando-se como referência a área delimitada pelas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

coordenadas GPS -18.915308, -41.995670, situada no bairro Santa Rita (a montante), e -18.840541, -41.886319, situada no bairro Chácaras Canaã (a jusante). Essa região é a mais suscetível a desastres hidrológicos, motivo pelo qual tem sido alvo de estudos e monitoramentos contínuos, como se pode verificar em relatórios de modelagens produzidos por órgãos oficiais (CPRM, 2004; CBH-Doce, 2024). A Figura 3 ilustra a área de estudo.

Figura 3. Área de estudo com referência a montante e a jusante



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

3.2. Etapas da pesquisa

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram adotadas seis etapas metodológicas, conforme discriminado a seguir:

I. Definição da área inundável: Mapeamento fundamentado nos relatórios técnicos do CPRM (2004) e CBH-Doce (2024), correlacionando as manchas de inundação e cotas de nível d'água do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) para Tempos de Retorno (TR) extremos.

II. Definição da localização e altura das barreiras autoeleváveis: Seleção topográfica de pontos marginais estratégicos para contenção. Para o pré-dimensionamento das barreiras, adotou-se uma altura de referência de 1,60 m já considerando a margem de segurança de borda livre (*freeboard*), visando conter eventos com TR de 2 a 50 anos. O primeiro tempo de retorno refere-se a um período comum de recorrência de uma enchente, enquanto o último atende ao mínimo recomendado por Tucci (2007) para obras em áreas residenciais e comerciais com influência da macrodrenagem.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

III. Modelagem hidráulica de enchentes após a instalação das barreiras: Simulação 1D no *software* HEC-RAS (USACE), com base de dados da CBH-Doce (2024) e apoio técnico do Centro de Inteligência em Defesa Civil (CINDEC-MG), para avaliar os perfis de velocidade, novas cotas de superfície e potenciais efeitos de remanso após a inserção teórica das barreiras. Trata-se de um estudo preliminar que demandará refinamento para fins de projeto executivo.

IV. Análise de cargas nas barreiras de contenção: Quantificação preliminar simplificada das solicitações físicas sobre o sistema, incluindo o empuxo hidrostático resultante da lâmina d'água e o empuxo de terra atuante sobre as paredes da câmara subterrânea de concreto, considerando o estado de saturação total do solo. A análise de estabilidade fundamentou-se na verificação dos Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS). As análises foram subsidiadas pelos softwares Ftool e Autodesk Robot Structural Analysis.

V. Análise e interpretação de resultados: Os dados obtidos nas simulações hidráulicas e nos cálculos de estabilidade estrutural foram relacionados e interpretados de forma a permitir o pré-dimensionamento dos principais componentes da superestrutura e infraestrutura da barreira de contenção. Além disso, foi feito um comparativo de manchas de inundação antes e após a instalação das barreiras SCFB.

VI. Análise da aplicabilidade técnica das barreiras SCFB em Governador Valadares: A etapa conclusiva consistiu na síntese dos achados, respondendo diretamente ao problema de pesquisa sobre a aplicabilidade técnica das barreiras SCFB na calha do Rio Doce. Os resultados foram discutidos à luz das teorias e normativas apresentadas, apontando a viabilidade potencial do sistema como uma medida estrutural passiva e resiliente para a mitigação de desastres hidrológicos locais. Por fim, foram evidenciadas as limitações inerentes ao tema, no que diz respeito a sistemas complementares e desafios para a aplicação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cota de projeto e localização das barreiras autoeleváveis

O pré-dimensionamento empregou o software HEC-RAS (versão 7.0) para avaliar os Tempos de Retorno de 2 a 50 anos (Tucci, 2007). Para garantir o rigor e a reprodutibilidade do modelo, os parâmetros exigidos para a simulação — incluindo vazões de projeto, resolução do modelo altimétrico, geometria transversal, coeficientes de Manning, condições de contorno, delimitação da mancha protegida e hipóteses de impermeabilidade — originaram-se dos arquivos do CBH-Doce (2024) e do relatório do CINDEC (2026), produzido exclusivamente para

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

este estudo. Os dados fundamentais da modelagem estão sintetizados na Tabela 1 e Tabela 2, e a documentação completa encontra-se disponível no repositório indicado nas referências.

Tabela 1. Dados em função dos Tempos de Retorno

Estação/Trecho de referência	Evento	Vazão (m^3/s)	NA observado (m)
Estação 56850000	TR 2 anos	2.394,27	156,40
Estação 56850000	TR 5 anos	3.437,36	157,23
Estação 56850000	TR 10 anos	4.127,99	157,67
Estação 56850000	TR 25 anos	5.000,50	158,10
Estação 56850000	TR 50 anos	5.647,88	158,38

Fonte: CBH-Doce (2024).

Tabela 2. Síntese do estado do modelo HEC-RAS

Indicador	Valor	Observação
Versão de execução consolidada	HEC-RAS 7.0	após migração de versão
Seções transversais do modelo completo	6.994	geometria geo_doce_uhe
n de Manning mínimo/médio/máximo	0.04 / 0.067 / 0.10	Planilha de dados finais
W.S. Elev. mín./méd./máx.	138.92 / 153.27 / 162.18	*tabela Standard*
Velocidade máxima no canal	1.32 m/s	*tabela Standard*
Froude máximo no canal	0.48	*tabela Standard*

Fonte: CINDEC (2026).

Para o estabelecimento da cota de projeto do sistema de barreiras, utilizou-se a altimetria média aproximada das marcas d'água registradas nos muros das edificações situadas na Rua Rio Doce, abrangendo os bairros Jardim Alice e Vale Pastoril. Embora a modelagem computacional fornecesse dados de nível d'água, sua arquitetura unidimensional (1D) limita a precisão da cota de coroamento em áreas de espraiamento urbano, gerando incertezas localizadas. Assim, a integração entre os resultados do software e as evidências físicas deixadas pelas cheias nas fachadas das casas permitiu estipular uma cota de projeto significativamente mais precisa e condizente com a realidade do transbordamento. Dessa forma, a cota estabelecida foi de **1,60 m** com borda livre desejável de **0,30 m** conforme prevê a diretriz de projeto da Agência Federal de Gestão de Emergências dos Estados Unidos (FEMA, 2023).

Nesse contexto, foram distribuídas 25 barreiras de contenção ao longo das margens do Rio Doce, totalizando uma extensão de 21,52 km. As estruturas foram dispostas estrategicamente em zonas que viabilizassem a implementação com o mínimo de impacto à

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

população, evitando-se desapropriações em massa. Finalmente as barreiras receberam a identificação sequencial de BR_001 a BR_025, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4. Barreiras parciais às margens do Rio Doce



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A configuração espacial do sistema revela uma ampla variação geométrica, englobando desde contenções pontuais (a exemplo da BR_019, com 42,9 m) até extensos corredores lineares (como a BR_021, com 3,34 km). Compreender essa heterogeneidade é fundamental para o estudo, pois segmentos mais longos cruzam áreas com maior instabilidade de relevo e elevada densidade de interferências urbanas, potencializando o risco de ocorrência de depressões, falhas de continuidade e interseções críticas com a malha de drenagem municipal (CINDEC, 2026).

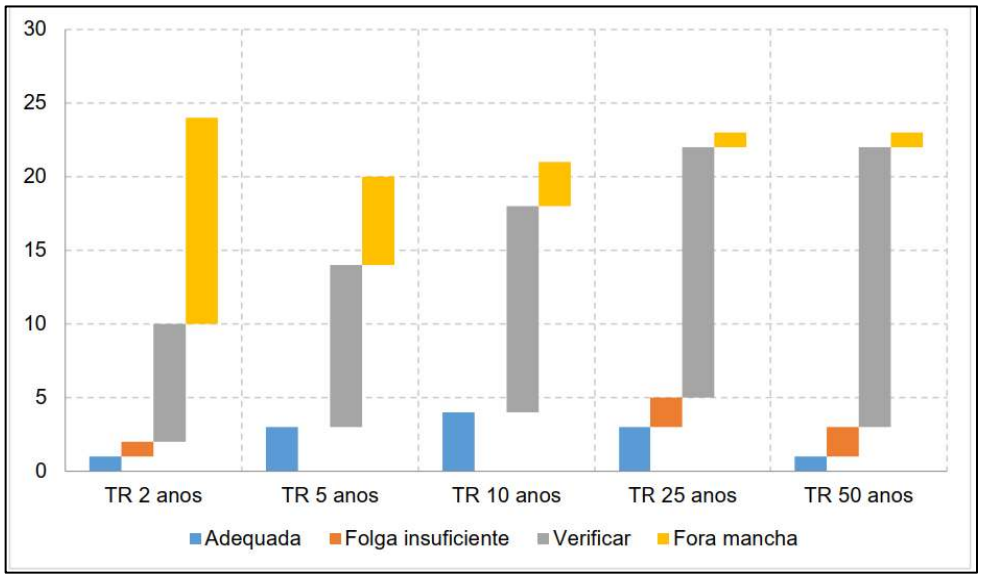
4.2. Comportamento hidrológico após a implementação das barreiras

Após a definição das barreiras, simulou-se o cenário de enchente comparando a situação atrelada aos tempos de retorno antes e após a instalação das estruturas de contenção. Ao todo, foram avaliadas 125 interações, correspondentes a 25 barreiras em 5 tempos de retorno. As interações foram classificadas como “adequadas” quando se manteve a borda livre igual ou superior a 0,30 m; “folga insuficiente”, quando a borda livre registrada foi menor do que 0,30 m; “fora da mancha” para os casos em que as barreiras não tiveram interação direta com os eventos de enchente; e “verificar” quando os valores de borda livre foram negativos. Contudo, nesta avaliação, a presença de borda livre negativa não foi tratada automaticamente como galgamento confirmado da barreira, pois o nível d’água foi

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

estimado de forma indireta a partir do contorno da mancha de inundação pós-barreira dentro de um buffer de 5 m (CINDEC, 2026). A Figura 2 apresenta as interações das barreiras de acordo com o tempo de retorno.

Figura 2. Distribuição das classes das barreiras por tempo de retorno



Fonte: CINDEC (2026).

Considerando que a altura de 1,60 m foi utilizada apenas como um parâmetro de referência inicial, é natural que ocorram variações dimensionais na barreira de contenção ao longo da extensa área de estudo. Dessa forma, constata-se que, com exceção das estruturas previamente classificadas como “fora da mancha”, todos os demais trechos apresentam potencial técnico de aproveitamento e readequação geométrica, visando a minimização dos danos hidrológicos locais. Nesse viés, a Tabela **3. Síntese** 3 retrata o potencial de contenção das barreiras autoeleváveis nos trechos propostos.

Tabela 3. Síntese da classificação altimétrica estimada –1,60 m com possibilidade de adequação

TR	Nº de Barreiras avaliadas	Adequada	Folga insuficiente	Verificar	Fora da mancha	Potencial de contenção após adequações de projeto
2 anos	25	**2**	1	8	**14**	44%
5 anos	25	**8**	0	11	**6**	76%
10 anos	25	**8**	0	14	**3**	88%
25 anos	25	**5**	2	17	**1**	96%
50 anos	25	**3**	2	19	**1**	96%

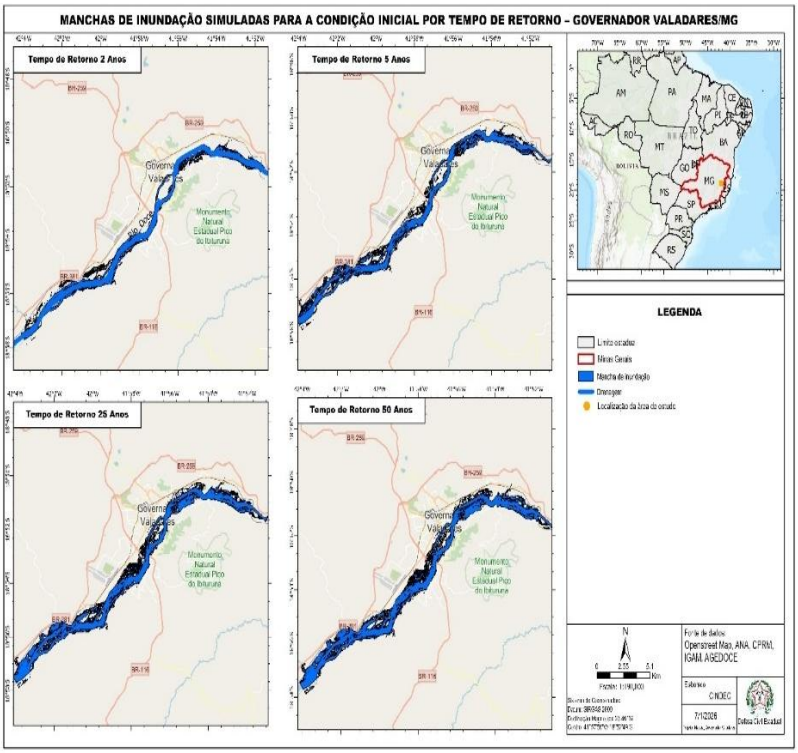
Fonte: CINDEC (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4.3. Área protegida após a implementação das barreiras autoeleváveis

Esta subseção destina-se à análise comparativa das manchas de inundação, contrastando a condição atual da bacia com o cenário simulado após a inserção das barreiras SCFB. Preliminarmente, a Figura 6 ilustra o diagnóstico base**Figura**, mapeando a extensão territorial das cheias para os Tempos de Retorno (TR) de 2 a 50 anos sem o efeito mitigador das estruturas de contenção.

Figura 6. Manchas de inundação por tempo de retorno, condição inicial



Fonte: CINDEC (2026).

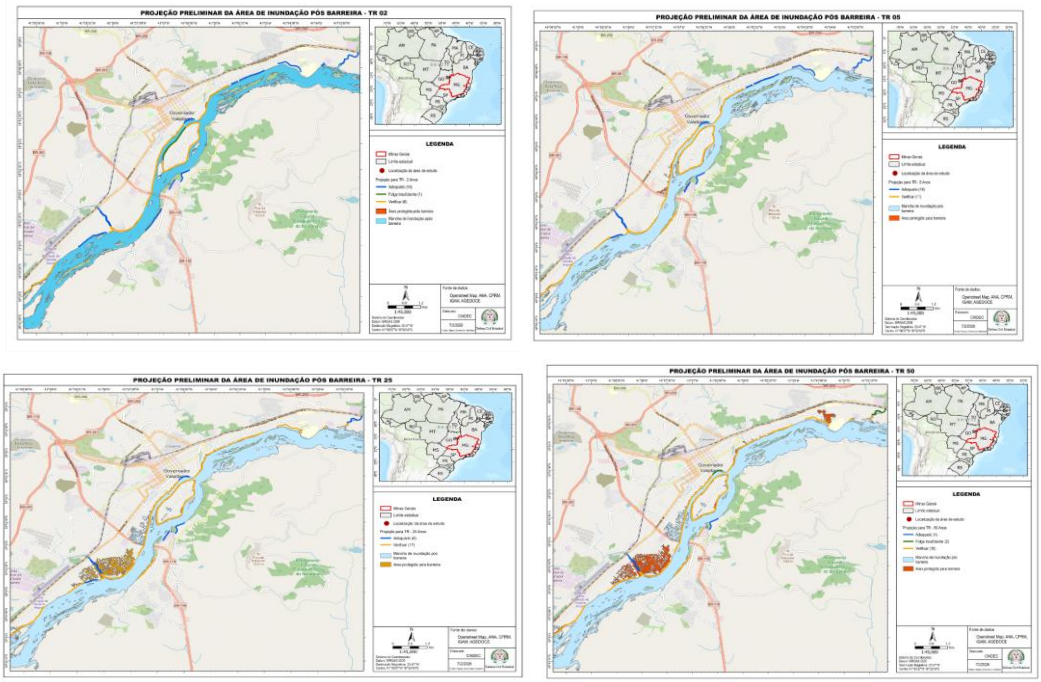
Destaca-se que a modelagem realizada pela CINDEC (2026) utilizou o mesmo banco de dados do CPRM, contudo houve divergência conceitual no resultado. Enquanto o polígono da CPRM apresenta-se contínuo e generalizado, o modelo aqui desenvolvido exibe descontinuidades e áreas secas pontuais (ilhas) no interior da área alagada; tais descontinuidades podem, inclusive, estar associadas a áreas suscetíveis ao retorno pela rede de drenagem. Essa diferença não decorre de divergências nas variáveis hidráulicas, mas sim do método de pós-processamento e da resolução do Modelo Digital de Terreno (MDT). O presente estudo optou por manter a mancha bruta do espraiamento superficial, refletindo fielmente as microvariações altimétricas do relevo urbano (como elevações de vias e calçadas). Em

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

contrapartida, os órgãos oficiais comumente aplicam filtros de limpeza topológica (*Fill Holes*) para suprimir microfeições secas e generalizar o polígono, criando uma mancha unificada de risco de inundação que engloba também os efeitos presumidos de refluxo da drenagem urbana.

A etapa seguinte consistiu no reprocessamento da modelagem hidráulica contemplando a implantação do sistema de contenção. Os resultados geraram novos mapas de inundação, nos quais as barreiras foram espacialmente classificadas e destacadas segundo os critérios de verificação apresentados na subseção anterior. Esse cruzamento de dados permitiu a delimitação geométrica e o cálculo da área urbana protegida, conforme observa-se na Figura 7.

Figura 7. Manchas de inundação e áreas protegidas após implementar as barreiras – TR 2 a TR 50



Fonte: CINDEC (2026)

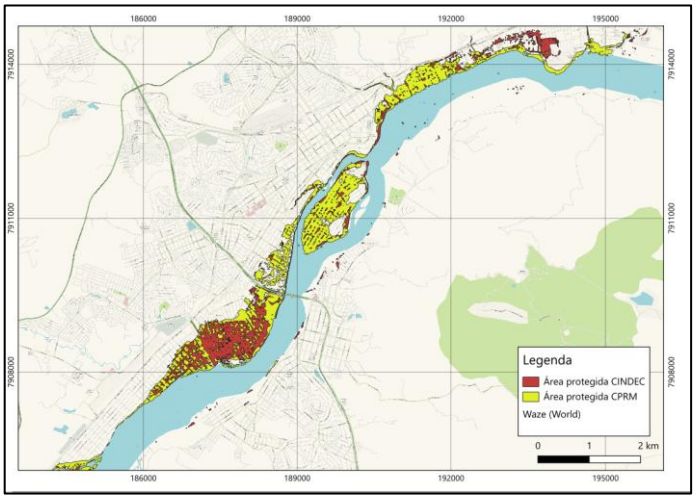
De acordo com a modelagem conservadora elaborada pelo CINDEC, a implementação estrita das barreiras resultaria em uma área efetivamente protegida de 81 hectares (área extraída via software) para o Tempo de Retorno de 50 anos. A Figura 7 demonstra que a mitigação**Figura** dos impactos diretos beneficiaria, majoritariamente, os bairros Jardim Alice e Vale Pastoril.

Contudo, ao adotar um preceito de gestão integrada, baseada na mancha de inundação contínua, o índice potencial de proteção urbana eleva-se substancialmente. Para que esse potencial máximo seja atingido, as barreiras SCFB devem atuar de forma sistêmica com infraestruturas de drenagem complementares, o que engloba o dimensionamento ótimo das

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

cotas de contenção, a instalação de dispositivos antirrefluxo e o emprego de estações de bombeamento para o esgotamento interno das águas pluviais. A Figura 8 retrata a diferença entre a abordagem do CINDEC e o mapeamento feito pelo CPRM, considerando o potencial de proteção total, enquanto o Quadro 1 correlaciona**Quadro** o tipo de abordagem e os resultados de área protegida.

Figura 8. Potencial de área protegida - comparativo entre CINDEC e CPRM



Fonte: autor (2026)

Quadro 1. Comparativo de situação e área protegida

Situação	Mapeamento	TR associado	Área protegida
I – Área protegida considerando somente a interação direta entre as barreiras e o Rio Doce, desconsiderando descontinuidades e sistemas complementares	CINDEC	50 anos	81 ha
II – Área protegida potencial considerando barreiras e sistemas complementares de microdrenagem como estações de bombeamento e válvulas antirrefluxo	CINDEC	50 anos	168 ha
III - Área protegida potencial, integrando as descontinuidades, considerando barreiras e sistemas complementares de microdrenagem como estações de bombeamento e válvulas antirrefluxo.	CPRM	50 anos	432 ha

Fonte: autor (2026)

4.4. Esforços solicitantes

Esta subseção tem como objetivo identificar e quantificar as ações incidentes sobre o sistema. Como se trata de análise preliminar, decidiu-se por avaliar somente o caso mais crítico

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de operação, que ocorre durante a fase de contenção. No cenário de inundação, a superestrutura deve resistir à pressão hidrostática e aos esforços gerados por correntezas e ondas, enquanto a infraestrutura deve suportar os empuxos de solo e a subpressão. Para fins de pré-dimensionamento dos elementos estruturais e análise de cargas, serão adotados os parâmetros descritos no Quadro 2**Quadro** .

Quadro 2. Parâmetros iniciais de cálculo

Or.	Descrição	Considerações/Referências	Parâmetro	Valor	Unidade
1	Peso específico da água	Azevedo Netto (2015)	γ_{h20}	9,80	kN/m³
2	Peso específico do concreto armado	NBR 6118:2023	γ_{conc}	25,00	kN/m³
3	Peso específico do solo ativo	Areia pouco siltosa/ pouco argilosa, solo saturado SPT=9. tabela de Joppert (2001)[a]	γ_{solo}	19,00	kN/m³
4	Tensão admissível do solo	Mínimo estipulado para atender ao coeficiente de afundamento	σ_{solo}	160,00	kN/m²
5	Ângulo de Atrito do solo	Areia pouco siltosa/ pouco argilosa, solo saturado SPT=9. tabela de Joppert (2001)	φ	30	º
6	Coeficiente de atrito solo-estrutura para barreira vertical	Areia pouco siltosa/ pouco argilosa, solo saturado SPT=9. Joppert (2001)	$\mu_{sat} = \tan\left(\frac{2\varphi}{3}\right)$	0,36	-
7	Coeficiente de atrito solo-estrutura para barreira horizontal (moldado in loco)	Areia pouco siltosa/ pouco argilosa, solo saturado SPT=9. Joppert (2001)	$\mu_{sat} = \tan\left(\frac{3\varphi}{4}\right)$	0,41	-
8	Velocidade de correnteza	Definida pelo autor com base nos resultados da modelagem hidráulica.	v	2	m/s
a – Definição ilustrativa para solos aluvionares, uma vez que perfil de sondagem pode variar ao longo do objeto de estudo					

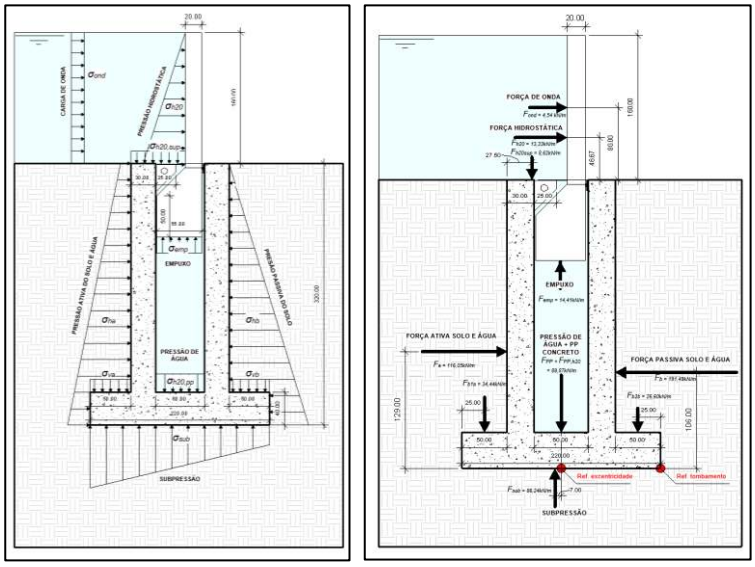
Fonte: elaborado pelo autor baseado em ABNT (2023), Azevedo Netto (2015) e Joppert (2001).

4.4.1. Diagramas de esforços solicitantes

Todos os carregamentos e esforços foram calculados seguindo os princípios da hidráulica citados por Azevedo Netto (2015) e Erbisti (2014), bem como os fundamentos geotécnicos mencionados por Gerscovich, Danziger e Saramago (2016). As Figuras 9 e 10 resumem**Figura Figura 10. Síntese** o diagrama de forças do sistema, à esquerda encontra-se a representação das cargas distribuídas e à direita o equivalente de cargas concentradas por metro.

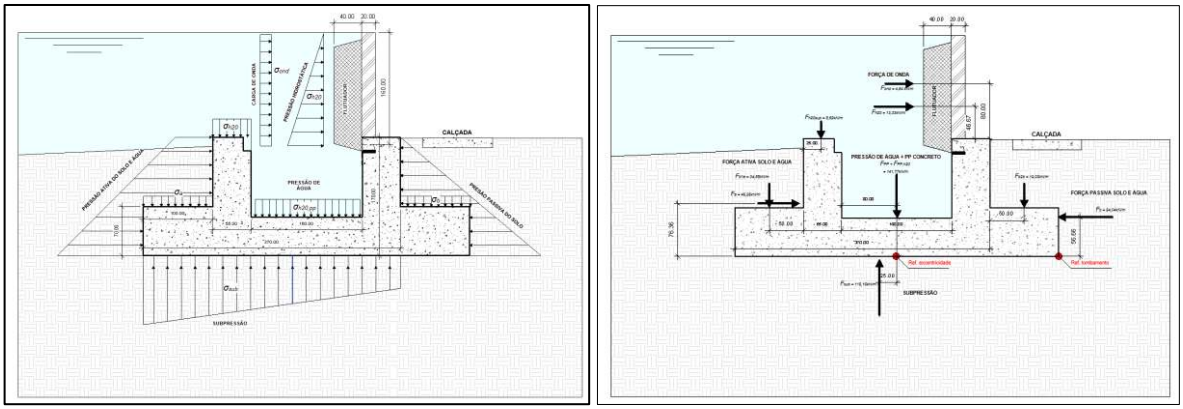
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 9. Síntese do diagrama de forças para barreira vertical



Fonte: autor (2026).

Figura 10. Síntese do diagrama de forças para barreira vertical



Fonte: autor (2026).

4.5. Estabilidade estrutural global

Em termos de estabilidade global, o cenário mais crítico para o conjunto SCFB é a condição de plena operação, na qual a estrutura está submetida aos maiores esforços solicitantes. Nessa situação, verificam-se os valores mais elevados de momento, tensões verticais transmitidas ao solo, esforços horizontais associados ao escorregamento e forças verticais relacionadas ao levantamento. Nesse sentido, fundamentando-se nos métodos adotados por Gerscovich, Danziger e Saramago (2016), bem como nas práticas preconizadas pelas NBR 11682:2009 e USACE EM 1110-2-2100, estabeleceram-se os fatores de segurança mínimos com os quais foram comparados os resultados obtidos. Ressalta-

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

se que as equações se basearam nos parâmetros previamente apresentados no Quadro 2**Quadro** . Isto posto, a verificação quanto à estabilidade global é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3. Fatores de segurança para estabilidade

Parâmetro do Fator de Segurança	Equação associada	Parâmetro adotado	Resultado SCFB vertical	Resultado SCFB horizontal
Localização da força resultante – Razão entre o somatório dos momentos no centro da base e o somatório das forças verticais	$FS_{tom} = \frac{M_{estab}}{M_{solic}}$	$> 1{,}5$ [a]	1,23	1,55
Localização da força resultante – Razão entre o somatório dos momentos no centro da base e o somatório das forças verticais	$FS_{ER} = \frac{\Sigma M}{\Sigma V}$	$\leq \frac{b_s}{6}$ [b]	0,27<0,37	0,31<0,78
Escorregamento – Razão entre a Força estabilizante e a Força solicitante [b]	$FS_{desliz} = \frac{F_{estab}}{F_{solic}}$	≥1,5[c]	1,63	1,50
Afundamento – Razão entre a carga máxima distribuída na base da estrutura e a tensão admissível do solo [b]	$FS_{afund} = \frac{Q_{máx}}{\sigma_{solo}}$	≥3,0[c]	3,00	6,04
Levantamento – Razão entre o somatório das forças verticais para baixo e o somatório das forças verticais de flutuação (para cima) [c]	$FS_{lev} = \frac{F_v}{F_{flut}}$	≥1,3[d]	1,72	1,90
Verificação de flutuabilidade e acionamento autônomo da barreira obtida pela razão entre o peso próprio da contenção e a força de empuxo	$FS_{flut} = \frac{F_{PP,SCFB}}{F_{emp}}$	≥1,5[e]	1,54	4,34

a – Apesar de a NBR 11682:2009 exigir FS>1,5, a doutrina mais atual avalia a excentricidade, conforme preconizado pelo USACE
b – Tabela 3-5 USACE EM 1110-2-2100 considerando que para situações usuais deve-se garantir que 100% da base esteja em contato com o solo, sendo a resultante aplicada dentro do terço médio da estrutura.
c – Tabela 4 NBR 11682:2009 considerando, a favor da segurança, que a barreira se comporta como muro de contenção para o escorregamento. O valor foi obtido para o caso mais desfavorável de operação;
d – Tabela 3-4 USACE EM 1110-2-2100 fator de segurança para eventos usuais contra levantamento (*flotation*), associados a TR menores que 10 anos. A favor da segurança adotou-se o fator mais conservador
e – USACE EM 1110-2-2703. Análise preliminar considerando que os equipamentos de elevação devem operar com margem de 20% a 50%.

Fonte: ABNT (2009), Gerscovich, Danziger e Saramago (2016) e USACE (1994, 2005, 2016).

Segundo o manual do USACE (2005), a verificação clássica de tombamento de corpo rígido é inadequada para o cenário de contenção hidráulica, uma vez que a ruptura da fundação por esmagamento ou o deslizamento ocorrem fisicamente antes de a estrutura tombar. Por esse motivo, utilizou-se o critério da norma americana de localização da resultante dentro do terço médio, que substitui o cálculo de tombamento ao garantir que toda a base da barreira permaneça estritamente sob compressão, evitando o seu deslocamento rotacional.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4.6. Análise estrutural preliminar para estabilidade local

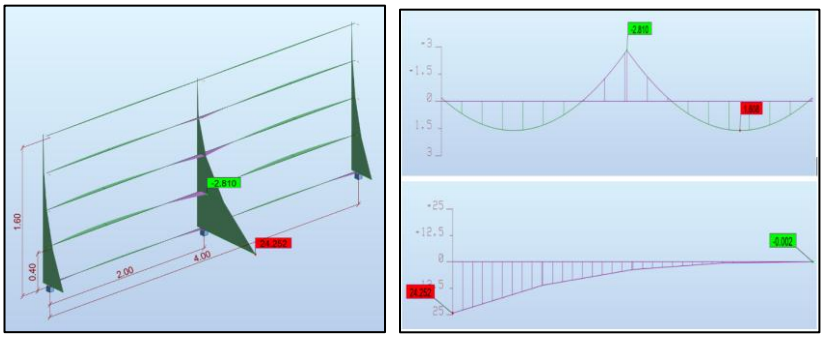
Devido à complexidade do projeto, a análise estrutural preliminar foi dividida em duas etapas. Na primeira fase modelou-se no programa Autodesk Robot Structural Analysis um módulo de 4 m da parte metálica superior da barreira SCFB. Com isso, extraíram-se os diagramas de esforços cortantes, momentos fletores e mapas de cargas utilizados para comparar com os esforços máximos suportados pelo aço ASTM A588, nos perfis e espessuras adotados. A segunda etapa consistiu na modelagem de uma seção da parte superior da barreira a fim de definir as forças máximas de reação nas extremidades da câmara de concreto, para isso foi utilizado o software Ftool. Ressalta-se que por ser uma análise inicial, o estudo se ateve a dados gerais e não contemplou o dimensionamento estrutural do flutuador, vedantes de Neoprene, tampouco da câmara de concreto que serve como reservatório para o sistema.

4.6.1. Comporta metálica

Preliminarmente, modelou-se uma comporta metálica com longarinas espaçadas em 40 cm e pilares espaçados em 200 cm. Feito isso, foi realizada a análise simplificada dos esforços considerando a distribuição da pressão de água (σ_{h20}) e pressão de onda (σ_{onda}), desconsiderando-se os efeitos de rigidez do painel. Isso foi feito aplicando o equivalente concentrado das cargas distribuídas sobre a área de influência das longarinas. Com isso, verificaram-se os momentos e cortantes máximos aos quais estes elementos seriam submetidos.

A partir daí, introduziu-se à modelagem um painel metálico de 5 mm também com aço ASTM A588, o que permitiu verificar momentos e cortantes máximos nesse último elemento estrutural além das deflexões e deslocamentos em toda a estrutura. Nesse sentido, as Figuras 11 e 12 ilustram**Figura Figura** , respectivamente, os momentos fletores e cortantes máximos observados nas longarinas e pilares, enquanto a Figura 13 apresenta o diagrama**Figura** desses esforços obtidos para o painel metálico.

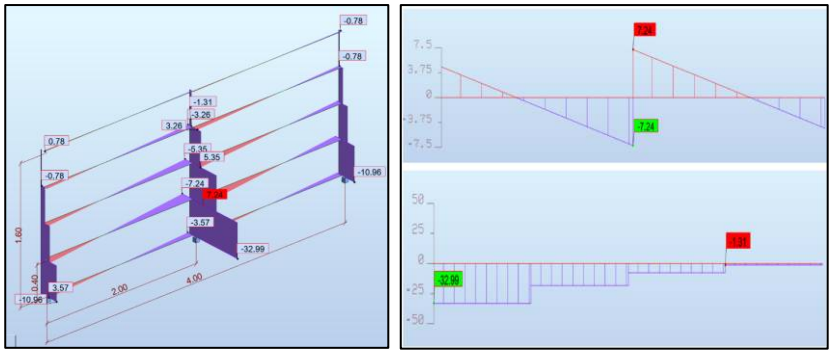
Figura 11. Valores máximos para Mk (kN.m) nas longarinas e pilares – cargas simplificadas



Fonte: elaborado pelo autor (2026), utilizando o Autodesk Robot Structural.

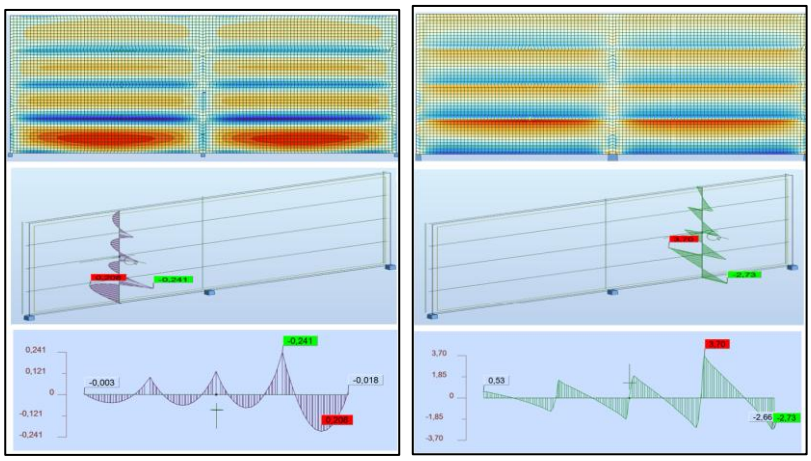
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 12. Valores máximos para Vk (kN) nas longarinas e pilares – cargas simplificadas



Fonte: elaborado pelo autor (2026), utilizando o Autodesk Robot Structural.

Figura 13. Mapas e diagramas em corte nos painéis SCFB – Mk à esquerda e Vk à direita



Fonte: elaborado pelo autor (2026), utilizando o Autodesk Robot Structural.

Os resultados de distribuição de carga encontram-se na Tabela 4, os esforços máximos obtidos encontram-se na Tabela 5 e a verificação dos deslocamentos dos elementos encontra-se na Tabela 6**Tabela**.

Tabela 4. Distribuição de cargas simplificada para barreira autoelevável

Elemento	Posição topo (m)	L influência (m)	Q_{h20} (kN/m)	Q_{onda} (kN/m)	Q_{total} (kN/m)
Longarina 1	0,00	0,20	0,20	0,57	0,77
Longarina 2	0,40	0,40	1,60	1,14	2,74
Longarina 3	0,80	0,40	3,20	1,14	4,34
Longarina 4	1,20	0,40	4,80	1,14	5,94
Longarina 5	1,60	0,20	3,00	0,57	3,57

Fonte: Elaborado pelo autor

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 5. Momentos fletores e esforços cortantes máximos solicitantes

Elemento	Posição crítica	Mk máx (kN.m)[a]	Msd máx (kN.m)[b]	Vk máx (kN)[a]	Vsd Máx (kN)[b]
Longarina 4	40 cm da base	-2,81	-4,22	7,24	10,86
Pilar	Base pilar central	-24,25	-36,34	32,99	49,48
Painel	Painel inferior[c]	-0,24	-0,36	3,70	5,55

a – Momento e cortante máximos característico no painel obtidos por meio do software de análise estrutural

b – Os valores de momento (Msd) e cortante (Vsd) foram obtidos multiplicando-se os valores característicos pelo coeficiente de 1,5 conforme preconiza a NBR 8681:2025 (Tabela 5) para elementos construtivos em geral e cargas variáveis.

c – Centro do painel inferior a 20 cm da base para Mk e apoiado sobre a longarina 3 para Vk.

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 6. Verificação de deslocamento dos elementos

Elemento	Posição crítica	Vão (cm)	Critério[a]	Deflexão máx. (cm)	Deflexão relativa (cm)[b]
Longarina	Longarina 1 a 200 cm das laterais	200,00	$L/250$	0,80	0,16
Pilar	Topo do pilar central	160,00	$L/500$	0,32	0,30
Painel	Centro do painel a 20 cm da base	40,00	$L/250$	0,16	0,13

a – De acordo com a tabela B.1 da NBR 8800:2024

b – Valores obtidos por meio da análise de deformações e deflexões do software Autodesk Robot Structural

Fonte: Elaborado pelo autor

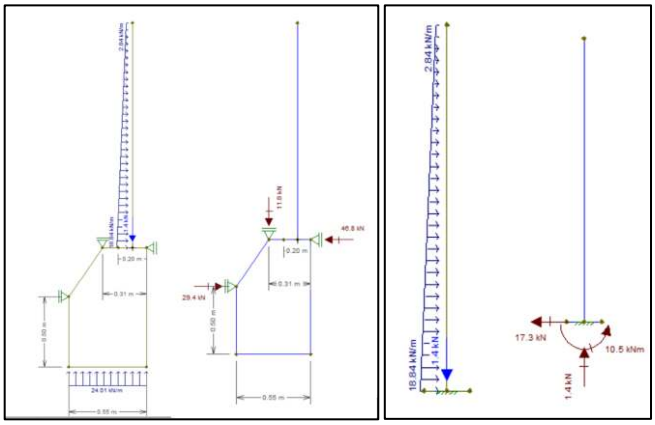
Após as verificações, conclui-se que o perfil Ue 100x50x17x3 mm, para as longarinas, o perfil W 250x15 para os pilares e a espessura de 5 mm para o painel atendem, em caráter preliminar, aos critérios estabelecidos pela NBR 14762:2020 e NBR 8800:2024.

4.6.2. **Forças de reação nos batentes**

Para garantir a integridade estrutural da câmara, é imprescindível avaliar não apenas as pressões externas, mas também as reações mecânicas impostas pelos batentes de vedação e rolamento, que atuam como cargas concentradas e geram picos de esforço cortante no concreto. Para mapear essa transferência de forças, o comportamento estático das configurações vertical e horizontal das barreiras SCFB foi simulado no software Ftool. Essa modelagem bidimensional viabilizou a extração analítica das reações nos apoios sob a condição crítica de cheia, as quais estão destacadas na Figura 14**Figura**.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 14. Reações nos batentes, barreira vertical (esquerda) e horizontal (direita)



Fonte: elaborado pelo autor (2026) utilizando Ftool

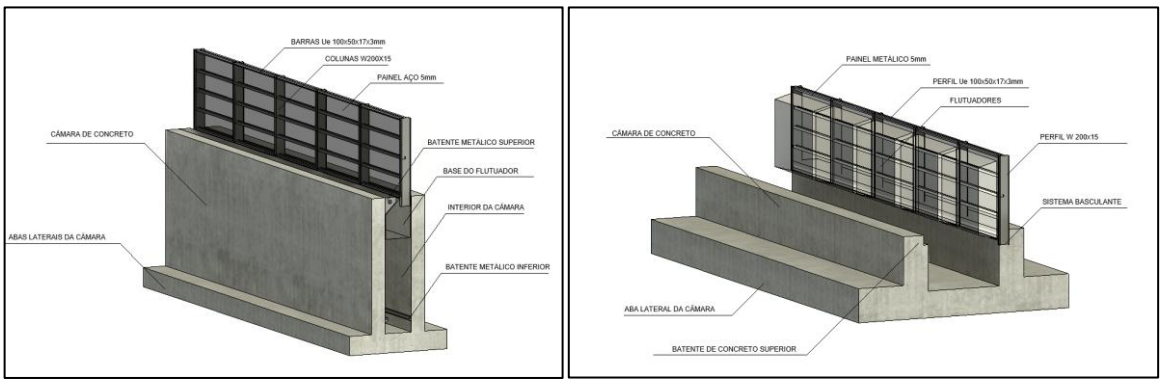
Portanto, para a SCFB vertical, os batentes são submetidos às reações de 29,4 kN (lateral esquerda), 11,8 kN (batente metálico topo) e 46,7 kN (lateral direita), enquanto para a SCFB basculante horizontal, os batentes e rolamentos são submetidos aos esforços de 17,3 kN (no eixo horizontal), 1,4 kN (eixo vertical) e momento de 10,5 kN.m (anti-horário). Vale ressaltar que a esses esforços ainda devem ser aplicados os fatores de majoração previstos em norma.

4.7. Modelagem dos componentes da barreira SCFB

Após as definições preliminares do projeto, desenvolveu-se o modelo inicial 3D das barreiras. O esboço prevê a utilização de estruturas verticais nos canais artificiais que desaguam no Rio Doce, enquanto a configuração horizontal é destinada às áreas ribeirinhas. A Figura 15 ilustra a configuração e detalhamento inicial dos dois tipos de barreiras.

Figura 15. Visão 3D barreiras verticais e horizontais

Figura 15. Visão 3D barreiras verticais e horizontais



Fonte: autor (2026)

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Cabe destacar que, para a futura implementação do sistema, será imprescindível a instalação de filtros para reter a alta carga de sedimentos presente na água, prevenindo o entupimento do mecanismo de enchimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho alcançou seu objetivo ao avaliar a viabilidade técnica, hidráulica e estrutural da implementação de Barreiras Autoeleváveis (SCFB) no perímetro urbano de Governador Valadares/MG, em resposta às inundações recorrentes do Rio Doce. Por meio da modelagem hidrodinâmica (1D) no software HEC-RAS, verificou-se que a adoção de barreiras com altura efetiva de 1,60 m apresenta eficácia hidráulica potencial adequada para eventos frequentes (TR de 2 e 5 anos). Para o cenário crítico de projeto (TR de 50 anos), a análise altimétrica apontou que a estrutura passa a operar próxima ao seu limite, exigindo verificações locais rigorosas de borda livre. Apesar da criticidade extrema do evento de 50 anos, a simulação conservadora confirmou um potencial de resguardo de 81 hectares, concentrando os maiores benefícios territoriais nos bairros Jardim Alice e Vale Pastoril. Com a integração de infraestruturas complementares de microdrenagem, é possível expandir a área urbana protegida para até 432 hectares. Esse alcance demonstra o potencial da intervenção na mitigação dos danos socioeconômicos causados por desastres hidrológicos, cujos prejuízos acumulados no município somaram cerca de 67 milhões de reais entre 2020 e 2026.

Sob a ótica da estabilidade, a modelagem dos mecanismos nos softwares Ftool e Robot Structural Analysis indicou, em caráter preliminar, atendimento aos critérios estruturais considerados para os modelos de barreira com altura 1,60 m. As reações de apoio extraídas comprovam que os perfis metálicos suportam os esforços cortantes e os empuxos hidrostáticos gerados pela lâmina d'água no cenário extremo, desde que ancorados a uma infraestrutura de concreto dimensionada para evitar deslizamentos e tombamentos. Salienta-se que, tanto a superestrutura, quanto a infraestrutura, devem ser redimensionadas de acordo com a altura de contenção adotada, tais adequações ocorrerão naturalmente devido à heterogeneidade topográfica do objeto de estudo.

Apesar da eficácia potencial da barreira física, a principal constatação técnica deste estudo reside na dependência intrínseca do sistema de contenção em relação à rede de drenagem municipal. Evidenciou-se que a proteção marginal é inócua contra o alagamento interno se não houver o bloqueio do refluxo hidráulico pelas galerias pluviais. Portanto, conclui-se que a implementação das barreiras SCFB, em uma análise preliminar, apresenta viabilidade técnica, entretanto sua adoção é condicional: o sistema exige, obrigatoriamente, a instalação de válvulas de retenção e de estações de bombeamento para garantir o esgotamento das águas no lado protegido da cidade.

Como desdobramentos lógicos para o avanço da proposta rumo a um projeto executivo, recomendam-se, para trabalhos futuros, a transição para modelagens bidimensionais (2D) –

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

essenciais para mapear o impacto do efeito remanso em margens não protegidas –, a execução de levantamentos topográficos de alta resolução nas vias de implantação, o cadastro da microdrenagem urbana nas modelagens futuras, a análise de dispositivos antirrefluxo, laudos de sondagem de solo e, sobretudo, a elaboração de estudos de viabilidade econômica comparando os custos de implantação do sistema integrado com a mitigação dos prejuízos históricos da Defesa Civil.

Em última análise, a adoção de tecnologias avançadas como as barreiras SCFB, evidencia o amadurecimento da profissão. A essência da Engenharia Civil contemporânea não se limita a construir o ambiente urbano, mas sim a desenvolver soluções integradas que protejam a sociedade, garantindo que o direito à moradia segura prevaleça sobre cenários adversos. Portanto, projetar infraestruturas resilientes não é apenas um desafio técnico, mas um compromisso com a preservação de vidas e com a salvaguarda da dignidade humana, consolidando o verdadeiro papel social do engenheiro.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Produto 05**: Revisão e Atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce). Brasília, DF: ANA, 2023a. Disponível em: https://cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2023/04/1454-ANA-05-RH-RT-0001-R2-1.pdf. Acesso em: 22 mar. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Produto 07**: Atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce). Brasília, DF: ANA, 2023b. Disponível em: https://cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2023/10/1454-ANA-07-RH-RT-0001-R4_Doce.pdf. Acesso em: 22 mar. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Estudo da ANA aponta que cada R$ 1 investido em sistemas de alerta para eventos climáticos extremos pode evitar perdas de R$ 661**. Brasília, DF: ANA, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/estudo-da-ana-aponta-que-cada-r-1-investido-em-sistemas-de-alerta-para-eventos-climaticos-extremos-pode-evitar-perdas-de-r-661. Acesso em: 5 abr. 2026.

AGGERES. **SCFB - Self-Closing Flood Barrier**: Technical Documentation. Antuérpia: Aggeres Flood Solutions, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11682: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Plano Nacional reforça a necessidade de investimentos em medidas pré-desastres**. Brasília: MDR, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/plano-nacional-reforca-a-necessidade-de-investimentos-em-medidas-pre-desastres-1. Acesso em: 5 abr. 2026.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD)**. Brasília, DF: MIDR, 2026. Disponível em: https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/. Acesso em: 19 mar. 2026.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM DEFESA CIVIL (CINDEC). **STO-1.4.32.466/2026: Relatório Técnico Preliminar de Modelagem Hidrodinâmica para Avaliação da Viabilidade de Implantação de Barreiras de Contenção de Cheias em Governador Valadares/MG**. Governador Valadares: CINDEC, 2026. Documento não publicado. Disponível em: <https://academicoifmg-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/0064408_academico_ifmg_edu_br/IgBiO7bTcAO8Sry22azF7cnMAbwDA5OAbfWT6BDErZLukLw?e=cBalyA>. Acesso em: 9 ago. 2026.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH-Doce). **Modelagem hidráulica e reservatório:** simulação matemática para previsão de vazões e níveis na Bacia do Rio Doce. Versão 02. Governador Valadares: CBH-Doce, 2024. Disponível em: https://academicoifmg-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/0064408_academico_ifmg_edu_br/IgBiO7bTcAO8Sry22azF7cnMAbwDA5OAbfWT6BDErZLukLw?e=cBalyA. Acesso em: 9 ago. 2026.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Definição da planície de inundação de Governador Valadares**: relatório técnico final. Belo Horizonte: ANA; CPRM; IGAM, 2004. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14817. Acesso em: 19 mar. 2026.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE)**: Bacias monitoradas - Rio Doce. Brasília, DF: CPRM, 2026. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php?getbacia=bdoce. Acesso em: 18 mar. 2026.

ERBISTI, P. C. C. **Comportas hidráulicas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2014.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping: Levee. Washington, D.C.: FEMA, 2023.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

GERSCOVICH, D.; DANZIGER, B. R.; SARAMAGO, R. Contenções: teoria e aplicações em obras. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GOVERNADOR VALADARES. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)**: Produto 2: diagnóstico da situação da prestação dos serviços de saneamento básico: Volume 2.4: drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Governador Valadares: PMGV, 2015.

GOVERNADOR VALADARES. Prefeitura Municipal. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC). **Plano de contingência para inundações do Rio Doce no município de Governador Valadares**. Governador Valadares: Prefeitura Municipal, 2021.

HERZOG, C. P. **Cidades para todos**: (re)aprendendo a conviver com a natureza. Rio de Janeiro: Inverde, 2013.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HYFLO SELF CLOSING FLOOD SYSTEMS BV (HYFLO BV). **SCFB**: self closing flood barrier. [Países Baixos]: Hyflo BV, 2026. 1 catálogo institucional (PDF).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2022**: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso em: 06 abr. 2026.

JHINKOE-RAI, S. S. **Design study on the feasibility of a self-closing flood barrier**: a case study of the city of Arcen, Limburg. 2024. 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Estrutural) – Delft University of Technology, Delft, 2024.

JOPPERT JUNIOR, I. Fundações **e contenções de edifícios**: qualidade total na gestão do projeto e execução. São Paulo: Pini, 2001.

MUGESH, A.; KRISHNAN, L.; KUMAR, S. P. Self-Closing Flood Barrier a Preventive System to Defense Extreme High Flood Events. **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)**, Salem, v. 4, n. 1, p. 1-4, jan. 2015.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES (NIBS). **Natural Hazard Mitigation Saves**: 2019 Report. Washington, DC: NIBS, 2019. Disponível em: https://nibs.org/projects/natural-hazard-mitigation-saves-2019-report. Acesso em: 4 abr. 2026.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades; Global Water Partnership, 2007.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030**. Geneva: UNDRR, 2015. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030. Acesso em: 10 mar. 2026.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **EM 1110-2-2703: Lock Gates and Operating Equipment**. Washington, DC: Department of the Army, 1994.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **EM 1110-2-2100**: Stability Analysis of Concrete Structures. Washington, DC: Department of the Army, 2005.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **HEC-RAS River Analysis System**: Hydraulic Reference Manual. Davis: Hydrologic Engineering Center, 2016.

ZEVENBERGEN, C. *et al.* **Urban Flood Management**. 1. ed. London: CRC Press, 2010.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.