PROPOSTA FERRAMENTAL PARA AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES RESILIENTES EM SISTEMAS DE CONTENÇÃO DE INUNDAÇÕES

PROPOSITION OF A TOOL FOR THE EVALUATION OF RESILIENT SOLUTIONS IN FLOOD CONTAINMENT SYSTEMS

Natália Galvão dos Santos[1]; Guilherme Luiz Canzian Marion[2]; Ana Carolina Badalotti Passuello[3].

[1]Arquiteta e Urbanista | arq.nataliagalvao@gmail.com | UFRGS | Porto Alegre, Brasil; [2]Mestre em Engenharia Civil | canzianguilherme@gmail.com | UFRGS | Porto Alegre, Brasil; [3]Doutora em Engenharia | anapassuello@gmail.com | UFRGS | Porto Alegre, Brasil.

Resumo:
As mudanças climáticas impõem diversos riscos à sociedade, como o aumento da ocorrência de eventos hidrogeológicos com potencial de devastar regiões e impactar diretamente o funcionamento de infraestruturas urbanas críticas. Sistemas de contenção de inundações (SCI) devem ser resilientes a fim de antecipar, acomodar, e responder a inundações de diferentes magnitudes, permitindo a continuidade da vida diária e mantendo as regiões protegidas estanques. SCI móveis, desmontáveis e temporários, embora amplamente comercializados internacionalmente, são pouco conhecidos no Brasil e podem representar soluções resilientes para o enfrentamento de inundações em diferentes escalas. Esse trabalho tem como objetivo propor uma ferramenta metodológica para avaliar a resiliência de SCI móveis, desmontáveis e temporários. A ferramenta baseia-se em sete construtos observados na literatura, bem como em categorias de avaliação propostas pelo BREEAM Infrastructure. Para cada construto, foram propostos parâmetros de projeto e uma escala ordinal. A ferramenta foi aplicada em três opções de SCI móveis, amplamente consolidados no mercado. O estudo não aponta uma solução como a melhor, pois cada opção possui pontos fortes e fracos em relação a cada construto, mas apresenta um caminho viável para a avaliação de SCI ao contrastar diferentes parâmetros e permitir uma tomada de decisão informada.

Palavras-chave:
Sistemas de Contenção de Inundações; Eventos Climáticos Extremos; Resiliência; Mudanças Climáticas.

Abstract:
Climate change poses several risks on society, such as the increased occurrence of hydrogeological events with the potential to devastate regions and directly impact the functioning of critical urban infrastructures. Flood containment systems (FCS) must operate resiliently in order to anticipate, accommodate, and respond to floods of different magnitudes, allowing the continuity of daily life and keeping protected regions watertight. Mobile, demountable and temporary FCS, although widely commercialized internationally, are little known in Brazil and can represent resilient solutions for coping with floods on different scales. This work aims to propose a methodological tool to evaluate the resilience of mobile, demountable and temporary FCS. The tool is based on seven constructs observed in the literature, as well as assessment categories proposed by BREEAM Infrastructure. For each construct, design parameters and an ordinal scale were proposed. The tool was applied to three mobile FCS options, which are largely adopted worldwide. The study does not point to an absolute best solution, as each option has strengths and weaknesses in relation to each construct, but rather presents a viable path for assessing FCS by contrasting different parameters and allowing an informed decision-making.

Keywords:
Flood Containment Systems; Extreme Weather Events; Resilience; Climate Change.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que entre 2000 e 2019, as inundações comprometeram a vida e o patrimônio de 1,65 bilhões de pessoas ao redor do mundo (The World Bank, 2021). Um estudo da Casa Civil, em parceria com o Ministério das Cidades, revelou que mais de um terço dos municípios brasileiros estão localizados em áreas de risco alto para eventos hidrogeológicos como deslizamentos, enxurradas e inundações (Brasil, 2023). A recorrência desses eventos climáticos extremos está associada à intensificação dos efeitos das mudanças climáticas (IPCC, 2023). A região metropolitana de Porto Alegre, que concentra 4,3 milhões de habitantes, enfrentou duas inundações em anos consecutivos recentes, sendo a primeira em 2023 e a segunda em 2024. De acordo com dados da Prefeitura de Porto Alegre, as enchentes de maio de 2024 na capital afetaram 160.210 pessoas diretamente, mais de 39.000 edifícios, 31 unidades de saúde e 160 unidades educacionais (Prefeitura de Porto Alegre, 2024). Desde o evento climático extremo de 2024, três relatórios foram publicados, destacando o potencial para surtos de doenças, aumento da insegurança alimentar e da pobreza, perda de infraestrutura urbana crítica e descontinuidade nos serviços de saúde (Borde *et al*., 2024; Kirby, 2024; Machado, 2024). Esse evento climático extremo também contribuiu para uma ferramenta de avaliação de risco de enchentes proposta por Peixoto *et al*. (2024), evidenciando a importância desse tipo de análise para a preparação e mitigação de inundações em áreas urbanas.

Eventos climáticos anteriores na mesma região também revelaram as vulnerabilidades enfrentadas pelo Estado do Rio Grande do Sul, como a “grande cheia de 41”, detalhada por Guimaraens (2009). Por ocorrência daquele evento, foi concebido um sistema de contenção de inundações (SCI) para a cidade de Porto Alegre, finalizado em 1973. O sistema tem 67 km de extensão ao longo das margens dos rios Guaíba e Gravataí e é constituído por diques de terra, 14 comportas e por um muro de concreto armado, que se estende 3 metros acima e 3 metros abaixo do nível do solo. Vinte e três casas de bombas complementam o SCI para permitir o escoamento da água pluvial em direção ao Guaíba em situações de cheia (Fedozzi e Vivian, 2016). Apesar de robustas, algumas dessas defesas foram superadas em maio de 2024, resultando em inundações em áreas protegidas (Collischonn *et al*., 2025).

Diante do cenário apresentado, faz-se necessário avaliar sistemas de contenção de inundações capazes de enfrentar eventos hidrogeológicos extremos, mantendo estanques as regiões protegidas e aumentando a resiliência urbana das regiões atingidas. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo a proposição de uma ferramenta metodológica para a avaliação de soluções resilientes em sistemas de contenção de inundações, com a intenção de servir de subsídio para futuras tomadas de decisão em regiões com riscos de inundação. A ferramenta, ainda em seu estado preliminar, permitiu a análise de três sistemas móveis, desmontáveis e temporários frequentemente utilizados ao redor do mundo. Estudos anteriores a respeito SCI têm pouca ênfase em sistemas móveis (Igigabel *et al.*, 2022) que, apesar de amplamente disponíveis no mercado, ainda são pouco utilizados no Brasil. Como base para o desenvolvimento da ferramenta, foram adotados constructos relacionados ao tema de Resiliência Urbana e critérios de avaliação do *BREEAM Infrastructure*, uma certificação internacional de sustentabilidade ambiental para edifícios e infraestruturas administrada pela *Building Research Establishment* e que possui a resiliência como um de seus critérios de avaliação. O trabalho alinha-se diretamente com alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, como: ODS 9 “Indústria, Inovação e Infraestrutura”, ODS 11 “Cidades e Comunidades Sustentáveis” e 12 “Consumo e Produção Responsáveis”.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. RESILIÊNCIA URBANA

A resiliência é uma habilidade intrínseca de um sistema que o permite ajustar seu funcionamento antes, durante ou após a ocorrência de mudanças e distúrbios, a fim de manter as suas

operações sob condições esperadas ou não (Hollnagel *et al.*, 2011). Esse conceito implica em: manutenção da funcionalidade do sistema durante a antecipação e entendimento dos riscos; perda de funcionalidade durante a absorção de mudanças; recuperação de funcionalidade obtido pela resposta a essas mudanças e ganho de funcionalidade após a recuperação por conta das lições aprendidas e incorporadas para o melhoramento do sistema (Grøtan *et al.*, 2022). Dessa forma, a resiliência urbana se manifesta como um processo dinâmico pelo qual a sociedade responde e se recupera de riscos, absorve impactos, lida com mudanças, se reorganiza e aprende em resposta ao evento de risco, contribuindo para a adaptação (Ribeiro *et al.*, 2024).

Dharmarathne *et al.* (2024) e Shaker *et al.* (2019) argumentam que as mudanças climáticas, associadas ao aumento do risco de inundações, ameaçam o funcionamento e operações de infraestruturas críticas, como hospitais e plantas de energia. Rezvani *et al.* (2024), Li *et al.* (2024) e Magalhães *et al*. (2022) relacionam esses riscos a outras infraestruturas urbanas, como transportes, distribuição de água, tratamento de efluentes, telecomunicações e coleta de resíduos urbanos. Estudos anteriores propuseram critérios e indicadores para a avaliação da resiliência de sistemas urbanos de drenagem, como diversidade, conectividade e adaptação (Dolatshahi e Kerachian 2023) e, para a avaliação da resiliência urbana frente aos riscos de inundação, como as dimensões econômica, social, ambiental e administrativa (Zhang *et al.*, 2021, Xu *et al.*, 2024). Segundo Shaker (2019), as ferramentas para avaliação de resiliência de infraestruturas utilizadas atualmente podem ser divididas em três grandes categorias de base. A categoria “Engenharia” possui como foco a análise de estruturas, desempenho e modelagem de falhas, redundância e robustez; a categoria “Ecossistema” foca na adaptação climática e sustentabilidade; e a categoria “Social-institucional” busca indicadores qualitativos relacionados à sociedade, governança e capacidade dos locais.

A preparação para antecipar e lidar com riscos é enfatizada por autores como He *et al.* (2024) e Mabrouk *et al.*, (2024). Outras dimensões relevantes para a avaliação incluem resistência, redundância, resposta e recuperação frente às mudanças (Zhou *et al.*, 2015; Fekete *et al.*, 2017; He *et al.*, 2024; Neves 2024). A participação da comunidade na resposta às inundações é considerada importante para a avaliação da resiliência de infraestruturas críticas (Jiang *et al.*, 2024; Awah *et al.*, 2024; Munpa *et al.*, 2024). Essas dimensões, em conjunto, contribuem para a manutenção da estabilidade e continuidade da vida em ambientes urbanos (Fekete *et al.*, 2017). A Tabela 1 resume esses constructos, que foram considerados apropriados no contexto da resiliência urbana.

Constructos	Definição
Preparação	Antecipar e se preparar para interrupções, estimar riscos de enchentes, prever probabilidades de ocorrência e elaborar planos de emergência, incluindo formação de estoques e treinamento de funcionários (He et al. 2024; Mabrouk et al. 2024)
Resistência / Confiabilidade	Garantir que os componentes da infraestrutura sejam projetados para operar sob uma variedade de condições e, assim, mitigar danos ou perdas durante um evento (Zhou et al. 2015); vulnerabilidade à inundação e capacidade de permanecer funcional durante enchentes com danos mínimos (Mabrouk et al. 2024)
Redundância	Enfatiza o design e a capacidade da rede ou sistema (Zhou et al. 2015); recursos para flexibilidade e adaptação, novas medidas ou realocação (Fekete et al. 2017); alternativas para operações de emergência com estratégias descentralizadas (Mabrouk et al. 2024)
Resposta / Reação	Permitir uma resposta imediata e eficaz (Zhou et al. 2015); responder rapidamente para mitigar impactos adversos (He et al. 2024)
Recuperação	Tempo de reparo ou rapidez e acessibilidade para o reparo (Fekete et al. 2017, Neves 2024); exige mecanismos de recuperação e planos de restauração (He et al. 2024)
Participação popular na resposta à inundação	Disposição das pessoas para se envolver em esforços de resposta; inclui fatores como confiança nas autoridades locais, coesão comunitária, habilidades especializadas ou conhecimento técnico (Jiang et al. 2024, Awah et al. 2024, Munpa et al. 2024)
Estabilidade	Robustez e continuidade da vida cotidiana (Fekete et al. 2017)

Tabela 1: Constructos para a resiliência de infraestruturas urbanas.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As infraestruturas para o enfrentamento das mudanças climáticas são divididas em infraestruturas cinzas e soluções baseadas na natureza (Kuwae e Crooks, 2021). Infraestruturas cinzas incluem barreiras fixas, como diques, muros, barragens e canalizações, e barreiras móveis como sacos de areia e outras soluções que empregam tecnologia a fim de serem acionadas temporariamente (Ebekozien *et al.*, 2023, Chan *et al.*, 2024). Kim *et al.* (2017) destacam que o projeto de infraestruturas resilientes no contexto das mudanças climáticas não deve considerar apenas a avaliação de riscos, mas também fatores adaptativos para não comprometer o funcionamento de outras infraestruturas em caso de falha. Os autores conceituam esses sistemas como "seguros para falhar", em oposição ao termo "livre de falhas", à medida que reconhecem a inevitabilidade da falha como fator para o projeto de infraestruturas críticas (Kim *et al.*, 2017). Já soluções baseadas na natureza incluem sistemas como drenagem sustentável, telhados verdes, bacias de retenção vegetadas, parques urbanos de zonas úmidas, programas de reflorestamento e cidades esponja (Brudler *et al.*, 2019, Chan *et al.*, 2024).

2.2. BREEAM INFRASTRUCTURE

O *BREEAM Infrastructure* possui oito dimensões, quais sejam: paisagem e patrimônio histórico, uso da terra e ecologia, poluição, comunidades e *stakeholders*, resiliência, gestão, recursos e transporte. A dimensão resiliência possui três categorias de avaliação divididas em 16 critérios de avaliação e nem todos os critérios são obrigatórios para a obtenção da certificação. Este trabalho faz um recorte dessa dimensão, com foco na categoria "Avaliação e mitigação de riscos", cuja pontuação é apresentada na Tabela 2.

Critérios para avaliação e mitigação de riscos	Opcional	Estratégia	Projeto	Construção
(a) identificar requisitos de resiliência	Não	17	-	-
(b) identificar dependências	Não	21	21	-
(c) comunicar dependências	Não	21	21	-
(d) identificar e avaliar riscos	Não	Até 42	Até 21	Até 14
(e) comunicar riscos	Não	9	9	9
(f) plano de resiliência	Não	-	32	32
Pontuação máxima	-	110	104	55

Tabela 2: Pontuação para Avaliação e mitigação de riscos.
Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nas informações disponibilizadas pelo manual técnico do BREEAM (2022).

O critério de avaliação (a) "Identificar requisitos de resiliência" pressupõe a obtenção de requisitos mínimos que influenciam o desenvolvimento do empreendimento e recomendações de especialistas, quando disponível. Os critérios (b) "Identificar dependências" e (c) "Comunicar dependências", relacionam-se a outros sistemas, ocasionado por falhas ou impactos em partes do sistema analisado. Por exemplo, é possível identificar a dependência entre o SCI com a distribuição de água e energia elétrica. Os critérios de avaliação (d) e (e) requerem um esforço maior para serem contemplados, portanto não serão contemplados. No critério (f), devem ser levados em consideração fatores como resposta aos riscos identificados, papel das pessoas, requisitos de desempenho para as medidas de resiliência e medidas para mitigar o impacto de ameaças, também constando fora da análise.

3. MÉTODOS

O estudo foi dividido em três etapas: (i) seleção de estudos de caso; (ii) proposição da ferramenta metodológica; e (iii) avaliação da resiliência. Para a etapa (i), foram selecionados três diques móveis, desmontáveis e temporários comumente encontrados no mercado (Tabela 3). Na etapa (ii), a ferramenta metodológica proposta tomou como base os constructos de resiliência apresentados na Tabela 1, somando-se aos critérios do *BREEAM Infrastructure* apresentados na

Tabela 2. O critério (a) foi utilizado para avaliar a resiliência das opções de SCI temporários. Para cada construto da Tabela 1, buscou-se correspondências em parâmetros de projeto presentes em catálogos de fornecedores e relacionados principalmente a aspectos físicos dos SCI temporários. Um exemplo desse relacionamento é apresentado na Tabela 4.

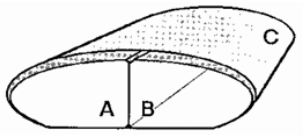
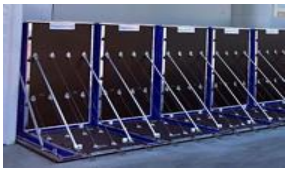
Sistema	Breve descrição	Imagem
Aquadam (AQD)	Barreira modular constituída por dois tubos estanques e flexíveis dentro de uma trama externa. Esses tubos internos assumem sua forma quando cheios de água, criando uma barreira estável.	
Aquafence (AQF)	Barreira modular dobrável que aproveita o peso da água para se auto estabilizar. Constituída por placas de compensado com película impermeável, a estrutura é dobrável e pode ser utilizada mais de 60 vezes.	
Inero (INR)	Barreira modular compacta constituída por chapas de alumínio naval, com durabilidade de até 30 anos.	

Tabela 3: Sistemas de contenção de inundações temporários.
Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Os dois últimos constructos da Tabela 1 não se relacionam diretamente a aspectos físicos das barreiras, mas à capacidade de envolver a comunidade na resposta a ameaças e a manter a vida na região protegida durante a ocorrência de uma inundação, respectivamente.

Constructo	Parâmetro adotado	Nota = 1	Nota = 2	Nota = 3
Resposta / reação: permitir uma resposta imediata e eficaz	Peso das peças: interfere na velocidade de resposta, pois elementos mais pesados demandam veículos ou equipes maiores para o transporte	INR: 80,14kg/m (não há menção ao parâmetro nos catálogos técnicos/o parâmetro é atendido de forma superficial)	AQF: 55,83kg/m (o parâmetro é contemplado, mas não completamente quando comparado às demais soluções)	AQD: 13kg/m (o parâmetro é contemplado ou é o mais bem contemplado entre as soluções comparadas)

Tabela 4: Exemplo de relação entre os constructos, parâmetros e pontuações na avaliação.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025) com base em catálogos e literatura.

Na etapa (iii), os parâmetros foram contrastados com informações de catálogos dos SCI temporários a fim de avaliar o grau com que eles contemplam os parâmetros propostos. Esses catálogos foram revisados pelo primeiro e segundo autores de forma independente e posteriormente discutidos para obter concordância quanto à inclusão no estudo e quanto à nota atribuída. Estipulou-se uma escala discreta de 1 a 3 para a avaliação, em que 1 significa que não há menção ao parâmetro nos documentos ou que o parâmetro é atendido de forma superficial e 3 evidencia o cumprimento em seu mais alto grau (ver exemplo na Tabela 4). A escala, que possui apenas três números, foi adotada por conta de sua simplicidade e dos três estudos de caso investigados nesse trabalho. No caso de mais soluções serem comparadas, é possível ampliar a escala para abarcar uma gama maior de notas. Destaca-se também que, embora diferentes parâmetros possam ser definidos por diferentes critérios, adotou-se o mesmo peso para todos eles a fim de tornar a análise mais simples e viável diante dos dados disponíveis. Os documentos consultados foram: (i) Temporary and Demountable Flood Protection Guide (Ogunyoye at al. 2021); (ii) Climate Resilient Design Standards and Guidelines for Protection of Public Rights-of-Way (Boston Public Works Department 2018); (iii) American National Standard for Flood Mitigation Equipment (ANSI/FM 2510 2020); (iv) AquaDam User's Guide 2004; (v) Product Guide AquaFence Flood Protection Technology; e (vi) Inero Technical Specification Inero Flood Barrier H150+20.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PROPOSTA FERRAMENTAL

A proposta ferramental é composta pelos 20 parâmetros apresentados na segunda coluna da Tabela 5.

Constructos	Parâmetro adotado	Informações disponibilizadas			Pontuação		
		AQD	AQF	INR	AQD	AQF	INR
Preparação	Plano Operacional (armazenamento, transporte, montagem, contingência)	possui	possui	possui	3	3	3
Resistência a... / Confiabilidade a...	Galgamento (transbordamento)	pode falhar	resistente	resistente	1	3	3
	Tombamento	pode falhar	pode falhar	pode falhar	1	1	3
	Deslizamento	pode falhar	pode falhar	pode falhar	1	1	1
	Flutuação	pode falhar	resistente	pode falhar	1	3	1
	Impactos mecânicos	média (não especificado)	média-alta (não especificado)	média-alta (não especificado)	1	3	3
	Vandalismo	média (não especificado)	alta (não especificado)	média (não especificado)	1	3	1
	Efeito dominó	média (não especificado)	média (não especificado)	baixa (não especificado)	3	3	1
Redundância	2ª linha de defesa em caso de falha	não previsto	não previsto	não previsto	1	1	1
	Possibilidade de aumentar a altura durante o uso	não é possível	não é possível	é possível	1	1	3
Resposta / Reação	Tempo de instalação	1,5 h (100 m de extensão por 1 m de altura)	1 h (55 m de extensão e 1,8 m de altura)	1 h (100 m de extensão por 1,7 m de altura)	1	2	3
	Equipamentos	2 bombas e mangueiras	furadeiras elétricas	içadores de caixotes	3	3	3
	Simplicidade de instalação	requer atenção para o enchimento	requer instaladores treinados	requer instaladores treinados	3	1	1
	Peso das peças	13kg/m (1,8m de altura)	55,83kg/m (1,8 m de altura)	80,14kg/m (1,7m de altura)	3	2	1
	Necessidade de transporte para instalação	veículo leve	veículo pesado	veículo pesado	3	1	1
Recuperação	Reparos e substituição de peças	apenas pequenos furos	pequenos impactos não afetam o sistema	é possível reparar	1	2	3
Participação popular na resposta à inundação	Número de pessoas	4 pessoas (30m de comprimento e 1,2m de altura)	8 pessoas (55m de comprimento em 1h)	6 pessoas (100m de comprimento em 1h)	3	1	2
	Nível de habilidade para instalar	médio (não especificado)	médio (não especificado)	médio (não especificado)	2	2	2
	Plano de Treinamento e Capacitação	não tem	não tem	não tem	1	1	1
Estabilidade	Possibilidade de vazamento na base	possível (inferior a 40l/m/h)	possível (inferior a 40l/m/h)	possível entre peças e abaixo da lona	2	2	1
Soma					36	39	38

Tabela 5: Ferramenta metodológica para avaliação final.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A avaliação das três opções SCI temporários: AQD, AQF e INR, também é apresentada na Tabela 5, com pontuação de 1 a 3, sendo 1 considerado como “não atendido” e 3 como “completamente atendido”. Os critérios de pontuação foram definidos para traduzir numericamente as informações disponibilizadas pelos fabricantes de cada solução, fazendo referência aos constructos definidos pelos autores. Ao fim, somou-se as notas de cada dique, demonstrando não haver diferença significativa entre a avaliação individual, pois a soma das notas foi similar. Entretanto, quando realizada a média para cada constructo, percebe-se que há discrepâncias de um dique para o outro. Essas médias são apresentadas graficamente na Figura 1.

4.2. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

A Figura 1 demonstra que a opção Aquadam (AQD) apresenta o melhor desempenho em “Resposta/ Reação” e “Participação popular na resposta à inundação”, devido a uma maior simplicidade para instalação, já que os materiais são mais leves quando comparados às outras opções, necessitando um caminhão leve para transporte. A opção Aquafence (AQF) apresenta desempenho superior em “Resistência/Confiabilidade”. Pode-se destacar a facilidade para recuperação de peças em momento de falhas, superior à opção analisada anteriormente. Quanto à “Estabilidade” e “Redundância”, essa solução empata com a opção Aquadam na promoção da continuidade da vida diária, embora as médias sejam baixas, já que ambas as soluções permitem algum grau de vazamento na base. A opção Inero (INR) apresenta desempenho superior em “Recuperação” pois permite a realização de reparos e substituição de peças e “Redundância”.

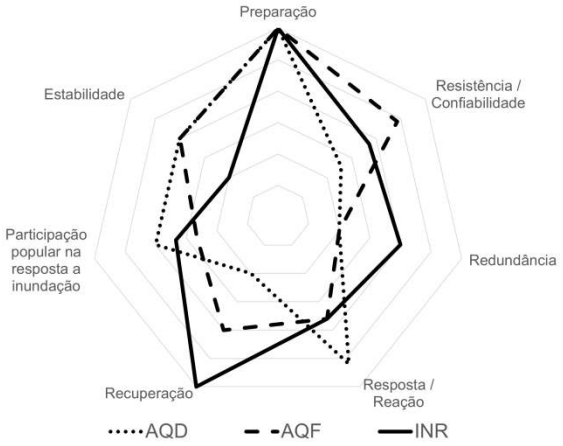


Figura 1: médias dos constructos dos SCI temporários.
Fonte: Os autores (2025).

Uma das alternativas para selecionar o dique móvel mais resiliente é realizar as médias dos constructos analisados, assim como também é possível elencar os constructos mais importantes e eleger o melhor sistema pelas pontuações através desse critério de prioridade, bem como elencar pesos aos critérios de avaliação. Propõe-se que os tomadores de decisão escolham a alternativa que mais se adeque à realidade do local de utilização. As condicionantes do local de instalação, como cidade e terreno, e os aspectos hidrológicos e físicos, não foram consideradas para a aplicação realizada, podendo essa avaliação ser replicada genericamente a qualquer situação como um *template* que requer adaptações a contextos específicos.

4.3. DISCUSSÃO

O trabalho enfrentou limitações quanto a sua abordagem, como a seleção de constructos para avaliação, que se baseou em revisão de literatura narrativa e sua avaliação por meio de parâmetros de projeto apresentados em catálogos de fabricantes, bem como a validação da ferramenta de forma limitada, por meio de apenas três opções de SCI. Portanto, tendo em vista a restrição das fontes de informação, é possível que alguns constructos ou parâmetros não tenham sido considerados nesta versão preliminar da ferramenta. Na avaliação dos constructos, é elencado o mesmo peso para todos os parâmetros, que são classificados de acordo com seu nível

de atendimento. Refletindo sobre o contexto de diferentes aplicações desta ferramenta, possivelmente será necessária uma revisão no peso dos critérios, a fim de atender satisfatoriamente às distintas demandas, elencando como prioridade, por exemplo, sistemas com menor tempo de resposta e a viabilidade financeira de cada contexto. O contexto de aplicação da ferramenta também pode exigir novos constructos e parâmetros.

Baseado nos resultados desse relatório, é possível obter até 17 créditos na avaliação do *BREEAM Infrastructure* para a avaliação da dimensão (i) resiliência com o critério (a) identificar requisitos de resiliência. Os critérios (b) e (c) relacionados à identificação e comunicação de dependências, (d) e (e) relacionados à gestão de riscos, e (f) plano de resiliência não pontuaram, pois exigem um maior envolvimento dos *stakeholders* na tomada de decisão quanto à utilização de SCI e dos locais em que serão utilizados. Essa pontuação no critério que se propôs a avaliar sugere que a ferramenta é um método válido para a avaliação de resiliência nos SCI, ainda que em fase preliminar.

5. CONCLUSÕES

Esse estudo possuiu como objetivo a proposição de uma ferramenta metodológica para a avaliação de soluções resilientes em sistemas de contenção de inundações. Eventos extremos recentes deflagram a urgência em desenvolver estudos no tema de resiliência a eventos hidrogeológicos e motivaram a realização desse estudo. A principal contribuição desse trabalho é a proposição de uma ferramenta composta por sete construtos relacionados à resiliência de SCI. Para cada construto, foram elencados parâmetros baseados em documentos e artigos científicos a respeito de SCI. A ferramenta foi testada em três opções de diques móveis, desmontáveis e temporários comumente utilizados e comercializados. A proposta ferramental não teve como objetivo apontar a melhor opção de SCI entre as três analisadas, mas indicar um caminho possível para a apreciação dessas tecnologias. Dessa forma, as opções foram analisadas quanto àquelas que atenderam melhor aos constructos de forma geral, por meio da soma das pontuações, quanto aquelas que apresentaram melhor desempenho em cada constructo, por meio do cálculo das médias dos parâmetros.

Esse trabalho também apresentou uma importante limitação. A aplicação prática da ferramenta não foi realizada com grupos de especialistas e partes interessadas para definir critérios e pesos. Sugere-se que aplicações práticas dessa ferramenta prevejam o envolvimento de diferentes *stakeholders* em contextos específicos da vida real. Os resultados desse estudo podem servir de base para investigações futuras, como: (i) estudar a aplicação da ferramenta em outros contextos, como rios e lagos específicos, assim como para proteção de infraestruturas específicas; (ii) validar a ferramenta junto a órgãos especializados, como a Defesa Civil; (iii) propor formas de integrar a ferramenta ao aprendizado a nível de sociedade para preparação e adaptação a eventos futuros; e (iv) propor modelagens e equações para avaliar cada constructo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

UNITED STATES OF AMERICA. **American National Standard for Flood Mitigation Equipment** (ANSI/FM 2510-2020), 2020. Disponível em: https://asfpm-library.s3-us-west-2.amazonaws.com/General/ANSI_FM_Approvals_2510_American_National_Standard_for_Flood_Abatement_2020.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

AQUADAM. **AquaDam User's Guide, 2004**. Disponível em: www.aquadam.net. Acesso em: 10 out. 2024.

AWAH, L. S.; NYAM, Y. S.; BELLE, J. A.; ORIMOLOYE, I. R. A system archetype approach to identify behavioural patterns in flood risk management: Case study of Cameroon**. Environmental Development**, v. 51, p. 101026, 2024.

BORDE, E.; CAMELO, L. V.; PILECCO, F. B. What the tragic floods in Southern Brazil tell us about health-centered climate-resilient development in Latin American cities. **The Lancet Regional Health - Americas**, v. 35, p. 100817, 2024.

BOSTON PUBLIC WORKS DEPARTMENT. **Climate Resilient Design Standards and Guidelines for Protection of Public Rights-of-Way**, 2018.

BRASIL. **Nota Técnica nº 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR**. Atualização dos critérios e indicadores para a identificação dos municípios mais suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, enxurradas e inundações para serem priorizados nas ações da União em gestão de risco e de desastres naturais. Casa Civil da Presidência da República, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/casacivil/pt-br. Acesso em: 10 abr. 2025.

BREEAM. **Technical Manual - SD6053**. BREEAM Infrastructure Projects International, V. 6, 2022. Disponível em: https://breeam.com/. Acesso em: 12 out. 2024.

Brudler, S.; Arnbjerg-Nielsen, K.; Hauschild, M. Z.; Ammitsøe, C.; Hénonin, J.; Rygaard, M. Life cycle assessment of point source emissions and infrastructure impacts of four types of urban stormwater systems. **Water Research**, v. 156, p. 383-394, 2019.

CHAN, F. K. S.; PASZKOWSKI, A.; WANG, Z.; LU, X.; MITCHELL, G.; TRAN, D. D.; WARNER, J.; LI, J.; CHEN, Y. D.; LI, N.; PAL, I.; GRIFFITHS, J.; CHEN, J.; CHEN, W. Q.; ZHU, Y. G. Building resilience in Asian mega-deltas. **Nature Reviews Earth & Environment**. v. 5, n. 7, p. 522–537, 2024.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; POSSANTTI, I.; DORNELLES, F.; PAIVA, R.; MEDEIROS, M. S.; MICHEL, G. P.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; MORAES, S. R.; MARCUZZO, F. F. N.; MICHEL, R. D. L.; BESLOW, T; L. C.; BESKOW, S.; FERNANDES, E. H. L.; SANTOS, L. L.; RUHOFF, A.; KOBIYAMA, M.; COLLARES, G. L.; BUSSON, F.; DUARTE, E.; LIMA, S.; MEIRELLES, F. S.; PICCILLI, D. G. A. O desastre hidrológico excepcional de abril-maio de 2024 no sul do Brasil. **RBRH**, v. 30, p. e1, 2025.

DHARMARATHNE, G.; WADUGE, A. O.; BOGAHAWATHTHA, M.; RATHNAYAKE, U.; MEDDAGE, D. P. P. Adapting cities to the surge: A comprehensive review of climate-induced urban flooding. **Results in Engineering**, v. 22, p. 102123, 2024.

DOLATSHAHI, M.; KERACHIAN, R. A resilience-based robustness evaluation framework for sustainable urban food management under uncertainty. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 60, p. 126195-126213, 2023.

EBEKOZIEN, A.; AIGBAVBOA, C.; SAMSURIJAN, M. S.; RADIN FIRDAUS, R. B.; SALMAN, A. Appraising flood resilience technologies role in developing cities: how prepared is the professional stakeholder? **International Journal of Construction Management**, v. 24, n. 7, p. 683-692, 2023.

FEDOZZI, L; VIVIAN, M. Uma sociologia das políticas waterfront regeneration no Brasil: análise de três casos emblemáticos. **Revista Sociedade e Estado**. v. 36, p. 719-743, 2021.

FEKETE, A.; TZAVELLA, K.; BAUMHAUER, R. Spatial exposure aspects contributing to vulnerability and resilience assessments of urban critical infrastructure in a flood and blackout context. **Natural Hazards**, v. 86, p. 151-176, 2017.

GRØTAN, T.O., ANTONSEN, S. and HAAVIK, T.K. Cyber Resilience: A Pre-Understanding for an Abductive Research Agenda. *In:* Guimaraens, R. **Resilience in a digital age:** global challenges in organisations and society. Cham: Springer International Publishing, p. 205-229, 2022.

GUIMARAENS, R. **A enchente de 41.** Porto Alegre: Editora Libretos, 2009.

HE *et al.* Enhancing resilience of urban underground space under floods: Current status and future directions. **Tunnelling and Underground Space Technology**. V.147, 2024.

HOLLNAGEL, E.; PARIÈS, J.; WOODS, D. D.; WREATHALL, J. **Resilience engineering in practice: A guidebook.** Ashgate, 2011.

IGIGABEL, M.; DIAB, Y.; YATES, M. Exploring methodological approaches for strengthening the resilience of coastal flood protection system. **Frontiers in Earth Science**, v. 9, p. 756936, 2022.

INERO. **Technical Specification Inero Flood Barrier H150+20**. Disponível em: www.inero.se. Acesso em: 02 mar. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Sixth Assessment Report**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/. Acesso em: 26 mar. 2025.

JIANG, H.; WANG, Y.; MA, W.; ZHANG, M. Unlocking the nonlinear Nexus: Accessibility of emergency resource and resident participation in flood response. **Journal of Transport Geography**. v. 118, p. 103926, 2024.

KIM, Y.; EISENBERG, D. A.; BONDANK, E. N.; CHESTER, M. V.; MASCARO, G.; UNDERWOOD, B. S. Fail-safe and safe-to-fail adaptation: decision-making for urban flooding under climate change. **Climatic Change**, v. 145, n. 3, p. 397-412, 2017.

KIRBY, T. Outbreaks compound Brazil's flooding disaster. **The Lancet: Infection**, v. 24, n. 8, p. e490, 2024.

KUWAE, T.; CROOKS, S. Linking climate change mitigation and adaptation through coastal green–grayinfrastructure: a perspective. **Coastal Engineering Journal**, v. 63, n. 3, p. 188-199, 2021.

LI, H.; HAN, Y.; WANG, X.; LI, Z. Risk perception and resilience assessment of flood disasters based on social media big data. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 101, p. 104249, 2024.

MABROUK, M.; HAN, H.; MAHRAN, M. G. N.; ABDRABO, K. I.; YOUSRY, A. Revisiting Urban Resilience: A Systematic Review of Multiple-Scale Urban Form Indicators in Flood Resilience Assessment. **Sustainability**, v.16, n. 12, p. 5076, 2024.

MACHADO, G. P. Floods in south Brazil: more than an environmental crisis. **The Lancet**, v. 404, n. 10447, p. 24-25, 2024.

MAGALHÃES, R. F.; DANILEVICZ, Â. D. M. F.; SOUZA, J. S.; ECHEVESTE, M. E. The risk management tools' role for urban infrastructure resilience building. **Urban Climate**, v. 46, p. 101296, 2022.

MUNPA, P.; DUBSOK, A.; PHETRAK, A.; SIRICHOKCHATCHAWAN, W.; TANEEPANICHSKUL, N.; LOHWACHARIN, J.; KITTIPONGVISES, S.; POLPRASERT, C. Building a Resilient City through Sustainable Flood Risk Management: The Flood-Prone Area of Phra Nakhon Sri Ayutthaya, Thailand. **Sustainability**. v. 16, n. 15, p. 6450, 2024.

NEVES, J. L. Urban planning for flood resilience under technical and financial constraints: The role of planners and competence development in building a flood resilient city in Matola, Mozambique. **City and Environment Interactions**. v. 22, p. 100147, 2024.

OGUNYOYE, F.; STEVENS, R.; **Underwood, S. Delivering Benefits through Evidence**: Temporary and Demountable, Flood Protection Guide. Defra-Environment Agency: Bristol, UK, 2011. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/603376bce90e0766021bf14f/_flood_protection_guide.pdf. Acesso em: 2 mar. 2025.

PEIXOTO, J. P. J.; COSTA, D. G.; PORTUGAL, P.; VASQUES, F. A geospatial multi-domain flood prediction tool exploiting open datasets. **Software Impacts**, v. 21, p. 100697, 2024.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Áreas Afetadas - Porto Alegre**, 2024. Disponível em: https://painelrs.maps.arcgis.com/apps/dashboards/2e2b4247389d44c1b49b26b50d1e10b3. Acesso em: 13 out. 2024.

AQUAFENCE. **Product Guide AquaFence Flood Protection Technology**. Disponível em: www.aquafenceusa.com. Acesso em: 13 out. 2024.

REZVANI, S. M.; SILVA, M. J. F.; ALMEIDA, N. M. Urban Resilience Index for Critical Infrastructure: A Scenario-Based approach to Disaster Risk Reduction in Road Networks. **Sustainability**, v. 16, n. 10, p. 4143, 2024.

RIBEIRO, D. F.; SAITO, S. M.; ALVALÁ, R. C. S. Community disaster resilience in Brazilian small urban centers. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 100, p. 104200, 2024.

SHAKER, R. R.; RYBARCZYK, G.; BROWN, C.; PAPP, V.; ALKINS, S. (Re)emphasizing Urban Infrastructure Resilience via Scoping Review and Content Analysis. **Urban Science**, v. 3, n. 2, p. 44, 2019.

THE WORLD BANK. **An EPIC Response: Innovative Governance for Flood and Drought Risk Management,** 2021. Disponível em: https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/an-epic-response-innovative-governance-for-flood-and-drought-risk-management. Acesso em: 10 abr. 2025.

XU, W.; CAI, X.; YU, Q.; PROVERBS, D.; XIA, T. Modelling Trends in Urban Flood Resilience towards Improving the Adaptability of Cities. **Water**, v. 16, n. 11, p. 1614, 2024.

ZHANG, H.; YANG, J.; LI, L.; SHEN, D.; WEI, G.; DONG, S. Measuring the resilience to floods: A comparative analysis of key flood control cities in China. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 59, p. 102248, 2021.

ZHOU, Y.; LIU, Z.; LIU, S.; LIU, C.; TANG, Y.; WANG, H. The Beijing Case Study of Risk-Based Resilience Planning for Urban Local Flooding Management. *In:* **Advances in Hydroinformatics**: SIMHYDRO 2014. Singapore: Springer Singapore, p. 275-284, 2015.