

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AGRUPAMENTO PARA PRIORIZAÇÃO DE MUNICÍPIOS PARA FINS DE ESTRUTURAÇÃO DOS SERVIÇOS DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Alesi Teixeira Mendes¹; Tatiana Dumke da Silvai²; Vinicius Novaes Almeida³; Oscar de Moraes Cordeiro Netto⁴ & Conceição de Maria Albuquerque Alves⁵

Abstract: The management of Urban Stormwater Drainage and Management services in Brazil presents institutional deficiencies and complex challenges, impacting public health and quality of life. In response to this gap, this study proposes a municipal prioritization typology for the structuring of DMAPU services, aligned with the criteria of Reference Standard (NR) nº. 12/2025 from the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA). The prioritization criteria considered were: susceptibility to geohydrological risks, presence of rivers with high flood risk, and population exceeding 20,000 inhabitants. Using the K-modes algorithm, six distinct typological groups were identified among the 5,570 Brazilian municipalities analyzed. The results demonstrate the country's territorial heterogeneity, with one group comprising 771 municipalities standing out for simultaneously meeting all three prioritization criteria. These cities are predominantly concentrated in the South and Southeast regions, and in parts of the Northeast. The developed typology serves as an essential strategic tool for the planning and implementation of Urban Stormwater Drainage and Management actions at a national scale, allowing for the adaptation of solutions to local realities. It is concluded that the application of this methodology is crucial for strengthening the institutionalization and sustainability of urban drainage services in Brazil, significantly contributing to the improvement of public health, the environment, and the well-being of the population.

Resumo: A gestão dos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (DMAPU) no Brasil apresenta deficiências institucionais e desafios complexos, impactando a saúde pública e a qualidade de vida. Em resposta a essa lacuna, este estudo propõe uma tipologia de priorização municipal para a estruturação dos serviços de DMAPU, alinhada aos critérios da Norma de Referência (NR) nº 12/2025 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os critérios de priorização considerados foram: suscetibilidade a riscos geohidrológicos, presença de rios com alto risco de inundação e população superior a 20.000 habitantes. Utilizando o algoritmo K-modes, foram identificados seis grupos tipológicos distintos entre os 5.570 municípios brasileiros analisados. Os resultados demonstram a heterogeneidade territorial do país, com um grupo que possui 771 municípios, destacando-se por atender simultaneamente a todos os três critérios de priorização. Essas cidades concentram-se predominantemente nas regiões Sul e Sudeste, e em partes do Nordeste. A tipologia desenvolvida configura-se como uma ferramenta estratégica essencial para o planejamento e a implementação de ações de DMAPU em escala nacional, permitindo a adaptação de soluções às realidades locais. Conclui-se que a aplicação desta metodologia é crucial para fortalecer a

1) Universidade de Brasília, Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos; aleitmendes@gmail.com

2) Universidade de Brasília, Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos; tati.dumke@gmail.com

3) Universidade de Brasília, Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos; vinicius.novaesnsbr@gmail.com

4) Universidade de Brasília, Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos; demoraesnetto@gmail.com

5) Universidade de Brasília, Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos; cmaalves@gmail.com

institucionalização e a sustentabilidade dos serviços de drenagem urbana no Brasil, contribuindo significativamente para a melhoria da saúde, do meio ambiente e do bem-estar da população.

Palavras-Chave – drenagem, agrupamento, gestão de risco, clusters.

INTRODUÇÃO

A prestação dos serviços de saneamento básico é reconhecidamente essencial para a proteção da saúde pública e a melhoria da qualidade de vida da população (Heller e Castro, 2007). No entanto, a situação do saneamento básico no Brasil ainda apresenta importantes deficiências, destoando do grau de desenvolvimento socioeconômico do país e evidenciando a necessidade de avanços na oferta e na qualidade desses serviços (Aguiar e Heller, 2021; Brasil, 2021).

Dentre os componentes do saneamento básico, os serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas (DMAPU) apresentam o menor grau de desenvolvimento institucional (Brasil, 2021; Silva *et al.*, 2024). Esse cenário se reflete na limitada organização setorial, na incipiente consolidação das políticas públicas e na escassez de dados consistentes para subsidiar o planejamento e a gestão do serviço (Mendes *et al.*, 2024; Novaes e Marques, 2023).

Tal como ocorre em outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta desafios institucionais significativos na gestão dos serviços de DMAUPU (Mendes e Alves, 2022; Novaes e Marques, 2023). Esses desafios decorrem de uma complexa rede de competências compartilhadas entre os entes federativos, marcada por conflitos, sobreposições de atribuições, lacunas legais e insuficiência de mecanismos de gestão e financiamento para práticas sustentáveis de manejo das águas pluviais (Baptista e Nascimento, 2002; Brasil, 2021; Silva *et al.*, 2024).

Desde a promulgação da Lei nº 14.026/2020, que atualizou o marco legal do saneamento básico, o país tem dado passos importantes para fortalecer a institucionalização dos serviços de DMAUPU. Isso inclui o reforço da governança setorial e a implementação de instrumentos voltados ao aprimoramento da gestão e à garantia da sustentabilidade financeira. Nesse processo, destaca-se o papel da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), responsável pela elaboração de Normas de Referência que estabelecem diretrizes gerais para a prestação dos serviços públicos de DMAUPU, inclusive incentivando a regionalização e a cobrança pelos serviços.

A superação dos desafios mencionados impõe um dilema sob a perspectiva de formulação de política em nível nacional: abordagens generalistas tendem a desconsiderar particularidades relevantes das cidades, enquanto soluções individualizadas são inviáveis frente à dimensão continental e à diversidade dos municípios brasileiros. Nesse contexto, a construção de tipologias pode se configurar como uma estratégia útil para equilibrar essas demandas, agrupando os municípios em categorias com características semelhantes, viabilizando, ao menos em parte, análises e ações em escala nacional.

É nesse sentido que a Norma de Referência (NR) nº 12/2025 da ANA propõe critérios para a priorização da estruturação dos serviços de DMAUPU nos municípios. Com base nesses critérios, o presente estudo propõe uma tipologia de priorização municipal, utilizando o algoritmo *K-modes*, aplicado no programa R, para a categorização dos grupos tipológicos.

NORMA DE REFERÊNCIA N° 12/2025 DA ANA

A NR nº 12/2025, elaborada pela ANA, dispõe sobre a estruturação dos serviços públicos de DMAPU. O documento está organizado em sete capítulos, que seguem uma sequência lógica, partindo das disposições gerais até os aspectos operacionais mais específicos.

Em consonância com a Lei nº 11.445/2007, a norma define os serviços de DMAPU como um sistema integrado, que abrange todas as atividades, infraestruturas e instalações operacionais necessárias para a gestão eficiente das águas pluviais nas áreas urbanas. Sua aplicação se dá tanto na prestação direta quanto indireta, e em escala local ou regionalizada, restringindo-se, contudo, às áreas urbanas consolidadas. No caso de serviços prestados com base em instrumentos firmados antes da vigência da norma, sua aplicação fica condicionada à pactuação entre o titular e o prestador, observando o reequilíbrio econômico-financeiro e a aprovação da entidade reguladora.

Um dos pontos centrais da NR é a previsão da estruturação escalonada dos serviços, com metas progressivas a serem definidas pela entidade reguladora infranacional, em articulação com o titular e o prestador. Essa abordagem busca viabilizar a implementação gradual dos serviços, adaptando-os às realidades locais.

No Capítulo VI, o artigo 30 estabelece os critérios para identificação dos municípios prioritários para a estruturação dos serviços de DMAPU. São considerados prioritários os municípios que se enquadram em pelo menos um dos seguintes critérios: (i) município suscetível a riscos geohidrológicos; (ii) município que possua rios com alto risco de inundação em seu território; ou (iii) município com população superior a 20.000 habitantes.

Para o critério de suscetibilidade a riscos geohidrológicos, utilizou-se a lista oficial de municípios mais vulneráveis a deslizamentos, enxurradas e inundações. Essa lista orienta a priorização das ações federais em gestão de riscos de desastres. A primeira versão dessa listagem foi desenvolvida em 2011 e incluía 821 municípios, com base em dados históricos de desastres. Em 2023, a metodologia de priorização foi atualizada pela Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento da Casa Civil da Presidência da República. Com a nova abordagem, foram identificados 1.942 municípios mais suscetíveis à ocorrência de desastres (Brasil, 2023).

Quanto ao critério de alto risco à inundação, foram utilizados dados da base do Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (AVI), disponibilizada pela ANA. A elaboração do Atlas envolveu articulação com entes estaduais, gestores de recursos hídricos e órgãos de defesa civil. No AVI, foram identificados 13.948 trechos de rios inundáveis em 2.780 cursos d'água do país, dos quais 4.111 trechos (30%) foram classificados como de alta vulnerabilidade a inundações graduais (ANA, 2014).

Conforme estabelecido na Norma de Referência, os dados utilizados para atender ao critério relativo à população foram obtidos do Censo Demográfico, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A periodicidade dos censos é legalmente fixada em um intervalo máximo de 10 anos. Contudo, em razão da pandemia de COVID-19, iniciada em 2020, o último levantamento foi adiado e realizado apenas em 2022, sendo essa a base utilizada neste Relatório (IBGE, 2023).

METODOLOGIA

A construção das tipologias baseou-se na aplicação de uma análise de cluster. A metodologia adotada para esse processo é apresentada a seguir.

Fontes de informação e critérios de seleção

O processo de seleção das variáveis teve início com a coleta de dados brutos considerados relevantes, seguida de etapas de pré-processamento para adaptação ao modelo de análise. A escolha das variáveis utilizadas na definição das tipologias seguiu os critérios de priorização previstos na Norma de Referência nº 12/2025 da ANA, voltados à estruturação dos serviços de DMAPU, a saber: (i) suscetibilidade a riscos geohidrológicos; (ii) presença de rios com alto risco de inundaçao, e (iii) municípios com mais de 20.000 habitantes.

Tabela 1 – Variáveis selecionadas para a definição das tipologias

Critério	Origem	Fonte	Tipo
Suscetibilidade a riscos	Lista de municípios mais vulneráveis	(Brasil, 2023)	Categórica
Rios com alto risco de inundaçao	Atlas de Vulnerabilidade a Inundações	(ANA, 2014)	Categórica
População superior a 20.000 habitantes	Censo Demográfico	(IBGE, 2023)	Categórica

Seleção do algoritmo: K-Modes

Diversas abordagens de agrupamento são apresentadas na literatura. No entanto, considerando a natureza categórica das variáveis utilizadas neste estudo, optou-se pelo algoritmo *K-Modes*, uma variação do algoritmo *K-Means*, voltada ao particionamento de dados categóricos. Diferentemente do *K-Means*, que utiliza médias como centróides, o *K-Modes* adota a moda das observações em cada grupo (Huang, 1998).

A análise de cluster foi realizada com o uso do pacote *klaR*, do programa R (Weihs *et al.*, 2005). Assim como outros métodos de clusterização, o *K-Modes* exige a definição prévia do número de *clusters* (k). Quando o usuário possui conhecimento especializado sobre o domínio de estudo, é possível estabelecer previamente o valor de k (Almagro *et al.*, 2024). Neste estudo, no entanto, o número de *clusters* foi definido de forma empírica, por meio de testes sucessivos. Foram realizadas 10 simulações para cada valor de k entre 3 e 10, com análise das dissimilaridades médias para a escolha do melhor particionamento.

No algoritmo *K-Modes*, a dissimilaridade entre uma observação e o centróide de um cluster é medida com base na distância de *Hamming*, que corresponde ao número de atributos categóricos com valores distintos (Huang, 1998). Quanto menor a dissimilaridade, maior a similaridade entre a observação e o cluster. Essa medida orienta tanto a alocação das observações quanto a atualização das modas que definem os centróides ao longo das iterações do algoritmo.

RESULTADOS

A análise indicou que o número ótimo de clusters se encontrava entre 6 e 10, com redução progressiva das dissimilaridades médias. Para fins de interpretação e simplificação dos resultados, adotou-se a solução com seis clusters, por representar o menor número de agrupamentos com desempenho satisfatório na separação das observações. Os resultados foram sintetizados em um mapa conceitual, que organiza os clusters com base nas variáveis utilizadas na análise.

A Tabela 2 apresenta o resumo do resultado na análise de clusters, com a formação de seis grupos de municípios a partir dos critérios de priorização estabelecidos pela ANA e já mencionados anteriormente.

Tabela 2 – Resultado da análise de clusters

Grupo	Riscos hidrogeológicos		Rios inundáveis		População > 20mil		Prioridade
	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	
1	94,79%	5,21%	100%	--	100%	--	Não prioritário
2	100%	--	--	100%	92,81%	7,19%	Rios com alto risco
3	--	100%	11,81%	88,19%	100%	--	Riscos hidrogeológicos e rios com alto risco
4	100%	--	84,74%	15,26%	--	100%	População superior a 20.000 habitantes
5	--	100%	100%	--	20,28%	79,72%	Riscos hidrogeológicos e população superior a 20.000 habitantes
6	11,54%	88,46%	--	100%	--	100%	Todos os critérios

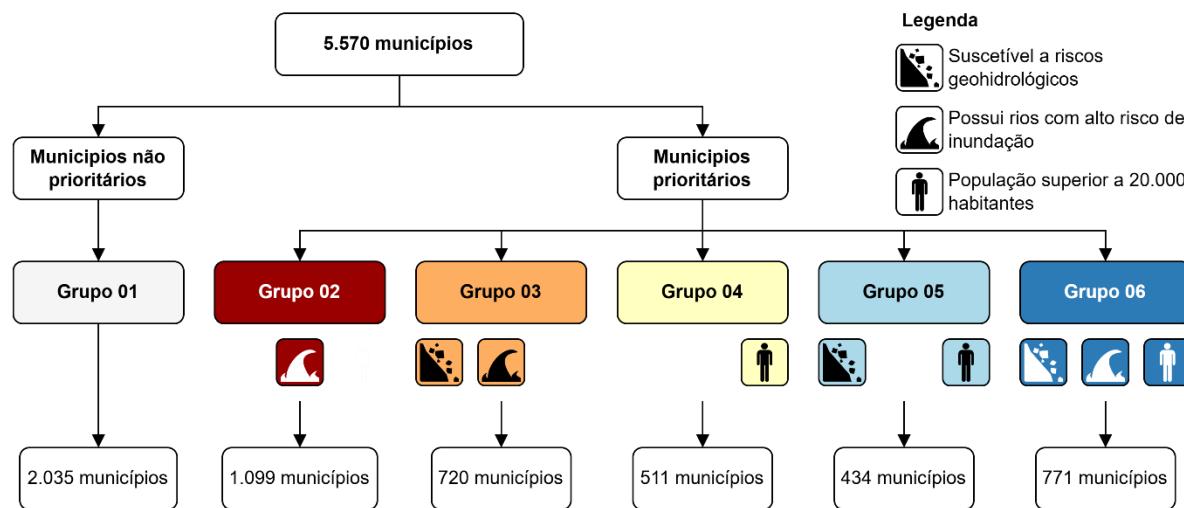
Como se observa, o Grupo 1 é composto majoritariamente por municípios que não atendem a nenhum dos critérios de priorização. Eles majoritariamente não apresentam riscos geohidrológicos e em sua totalidade não possuem rios com alto risco de inundação. Além disso, todos os municípios do grupo têm população inferior a 20 mil habitantes. O Grupo 2 é formado por municípios que possuem rios com alto risco de inundação (100%), mas que não apresentam riscos geohidrológicos (100%) e, em sua maioria, têm população inferior a 20 mil habitantes (92,81%). Apenas 7,19% ultrapassam esse limite populacional.

O Grupo 3 é composto por municípios expostos a riscos geohidrológicos (100%), dos quais 88,19% também estão sujeitos a rios com alto risco de inundação. Portanto, trata-se de um grupo que atende simultaneamente a dois critérios de risco. O Grupo 4 inclui os municípios com população superior a 20 mil habitantes (100%), que não estão expostos a riscos geohidrológicos (100%) e, majoritariamente, não apresentam rios com alto risco de inundação (84,74%).

O Grupo 5, por sua vez, reúne municípios com riscos geohidrológicos (100%), mas sem rios inundáveis (100%). A maioria (79,72%) também possui população superior a 20 mil habitantes. Portanto, trata-se de um grupo que atende a dois dos três critérios. Por fim, o Grupo 6 compreende os municípios que atendem aos três critérios de priorização. Nele, 88,46% dos municípios apresentam riscos geohidrológicos, 100% têm rios com alto risco de inundação e todos têm população superior a 20 mil habitantes.

O particionamento dos grupos tipológicos é ilustrado na Figura 1, por meio do mapa conceitual.

Figura 1 – Mapa conceitual dos grupos tipológicos

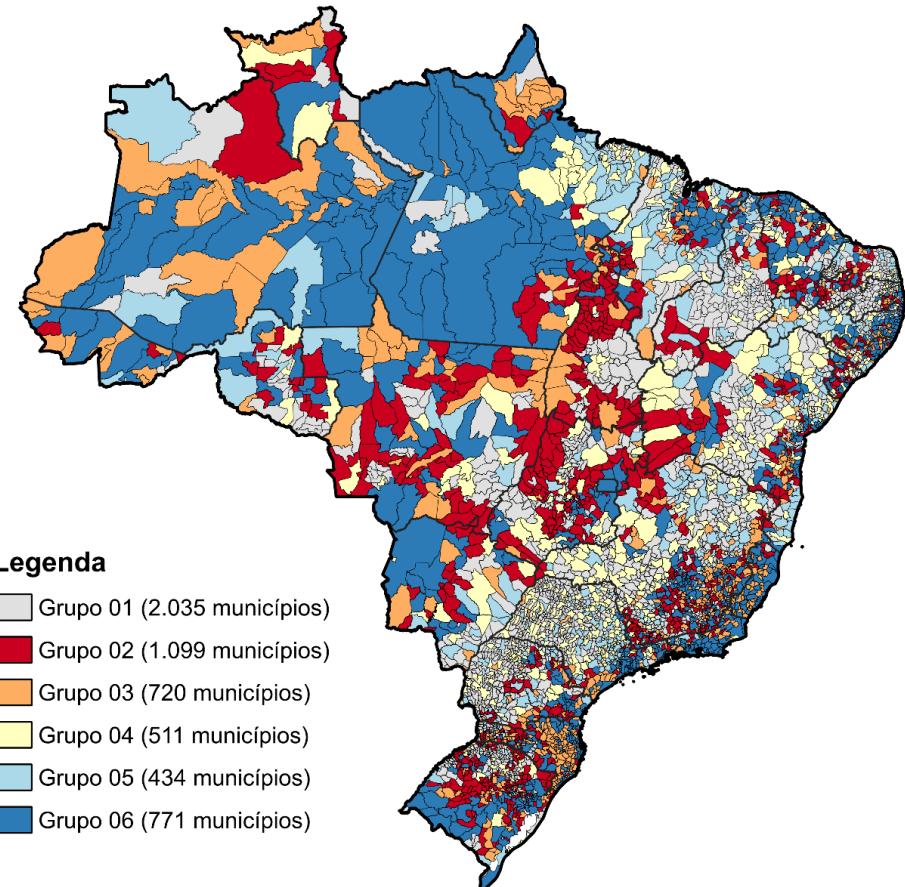


Dos 5.570 municípios analisados, o Grupo 01 reúne 2.035 municípios (36,5%) que não atendem a nenhum dos critérios de priorização. O Grupo 02 é composto por 1.099 municípios que atendem ao critério relacionado à presença de rios com alto risco de inundaçao. O Grupo 03 é formado por 720 municípios prioritários, caracterizados predominantemente pela presença de riscos geohidrológicos. O Grupo 04 é composto por 510 municípios prioritários caracterizados principalmente pela presença de rios com alto risco de inundaçao e porte populacional acima de 20.000 habitantes. O Grupo 05 é composto por 434 municípios prioritários que atendem a uma combinação específica dos critérios definidos pela ANA, a saber: o potencial para riscos hidrogeológicos e população superior a 20.000 habitantes. O Grupo 06 é composto por 771 municípios prioritários, que atendem simultaneamente aos três critérios de priorização estabelecidos pela ANA.

Importa destacar que a presente análise tem como foco a identificação da condição de prioridade, sem atribuir uma hierarquização entre os grupos formados. Isso se deve ao fato de que a Norma de Referência que fundamenta este Relatório não define critérios para o estabelecimento de graus de prioridade, concentrando-se na indicação dos parâmetros de inclusão.

A distribuição espacial dos grupos tipológicos pode ser observada na Figura 2, que evidencia padrões territoriais distintos entre os municípios brasileiros.

Figura 2 – Distribuição espacial dos grupos tipológicos



Observa-se uma considerável heterogeneidade territorial, refletindo as distintas combinações de riscos e características demográficas entre os municípios brasileiros. O Grupo 1, apresenta ampla dispersão territorial e está fortemente concentrado nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, além de áreas expressivas da Região Norte. O Grupo 2, destaca-se especialmente em áreas do Sul e Sudeste, além de regiões pontuais do Nordeste. O Grupo 3, distribui-se principalmente nas porções central e ocidental do território, com destaque para áreas do Norte, Nordeste e Centro-Oeste. O Grupo 4, concentra-se em regiões urbanizadas, notadamente nas capitais e em centros regionais do Sudeste e Sul, além de alguns polos urbanos no interior do país.

O Grupo 5, apresenta forte concentração em faixas do Sudeste, Sul e porções do Centro-Oeste. Já o Grupo 6, possui distribuição marcadamente concentrada nas regiões Sul e Sudeste, especialmente ao longo do litoral, bem como em partes do Nordeste. Essa distribuição territorial reforça a relevância de se considerar não apenas a presença dos critérios de priorização, mas, também, os contextos regionais e as capacidades institucionais locais para a estruturação dos serviços de DMAPU. A tipologia proposta, ao agrupar municípios com características semelhantes, contribui para o planejamento estratégico e escalonado das ações de fortalecimento da gestão das águas pluviais urbanas no Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo abordou as significativas deficiências e os desafios institucionais na gestão dos serviços de DMAPU no Brasil, um componente essencial do saneamento básico que ainda carece de desenvolvimento institucional. Em resposta a essa complexidade, o estudo propôs uma tipologia inovadora para a priorização de municípios, fundamentada nos critérios estabelecidos pela Norma de Referência nº 12/2025 da ANA: suscetibilidade a riscos geohidrológicos, presença de rios com alto risco de inundação e população superior a 20.000 habitantes.

A aplicação do algoritmo K-modes permitiu a identificação de seis grupos tipológicos distintos entre os 5.570 municípios analisados, evidenciando a considerável heterogeneidade territorial e as diversas combinações de riscos e características demográficas no país. Essa tipologia se estabelece como uma ferramenta estratégica para o planejamento e a implementação de ações de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas (DMAPU) em escala nacional, ao viabilizar a adoção de soluções e uma gestão mais adaptada às realidades locais.

Notavelmente, o Grupo 6, composto por 771 municípios, atende simultaneamente aos três critérios estabelecidos pela ANA e concentra-se nas regiões Sul e Sudeste (especialmente no litoral) e em partes do Nordeste. Essa distribuição geográfica reforça a complexidade dos desafios de DMAPU e a necessidade de soluções de prestação de serviço atreladas a essa realidade, exigindo atenção prioritária e estratégias de intervenção integradas. Sendo assim, a aplicação desta metodologia é crucial para fortalecer a institucionalização e a sustentabilidade dos serviços de drenagem urbana no Brasil, contribuindo diretamente para a melhoria da saúde pública, do meio ambiente e da qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. M. S.; HELLER, L. (2021) *"Saneamento básico no Brasil: perspectivas e a saúde nas cidades"*. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Oswaldo Cruz, 2021.
- ALMAGRO, A.; NETO, A. A. M.; VERGOPOLAN, N.; ROY, T.; TROCH, P. A.; OLIVERA, P. T. S. (2024). *"The Drivers of Hydrologic Behavior in Brazil: Insights From a Catchment Classification"*. Water Resources Research, v. 60, n. 8, p. e2024WR037212.
- ANA. (2014). *"Atlas de vulnerabilidade a inundações"*. Brasília: Ana.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. (2002). *"Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana"*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 29–49.
- BRASIL. (2021) *"Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021"*. Brasília: SNS/MDR.
- BRASIL. (2023) *"Nota Técnica n. 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR: Atualização dos critérios para a identificação dos municípios mais suscetíveis desastres"*. Casa Civil da Presidência da República.
- HELLER, L.; CASTRO, J. E. (2007). *"Política pública de saneamento: apontamentos teórico-conceituais"*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 3, p. 284–295.
- HUANG, Z. (1998). *"Extensions to the k-Means Algorithm for Clustering Large Data Sets with Categorical Values"*. Data Mining and Knowledge Discovery". v. 2, n. 3, p. 283–304.
- IBGE. (2023). *"Censo Demográfico 2022: População e domicílios – Primeiros resultados"*. Rio de Janeiro: IBGE.

MENDES, A. T.; ALVES, C. M. A. (2022). *"Universalização do saneamento básico no Brasil: uma avaliação da drenagem urbana enquanto componente marginal"*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS. Anais. Brasília, DF: ABRHidro, 2022. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14049>>. Acesso em: 27 maio. 2025

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R.; ALVES, C. de M. A. (2024). *"Trajectory, Challenges, and Opportunities in Sustainable Urban Water Management in Brazil: Nature-Based Solutions for Urban Stormwater Drainage"*. In: STEFANAKIS, A.; ORAL, H. V.; CALHEIROS, C.; CARVALHO, P. *"Nature-based Solutions for Circular Management of Urban Water"*. Cham: Springer International Publishing, 2024. p. 295–313.

NOVAES, C.; MARQUES, R. (2023). *"Águas pluviais urbanas: o Novo Marco Legal do Saneamento no Brasil significa uma nova oportunidade rumo à universalização?"* Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRUA): n. 29, v. 29, p. 85–98.

Silva, D. F., Tucci, C. E. M., Marques, P. K., Costa, M. E. L., Correa, A. C. S., Monteiro, M. P.; Araújo, L. M. N. (2024). *"Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso"*. Revista de Gestão de Água da América Latina, 21, e1. <https://doi.org/10.21168/rega.v21e1>

WEIHS, C.; LIGGES, U.; LUEBKE, K.; RAABE, M. (2005). *"klaR Analyzing German Business Cycles"*. In: BAIER, D.; DECKER, R.; SCHMIDT-THIEME, Lars (Orgs.). *"Data Analysis and Decision Support. Studies in Classification"*, Data Analysis, and Knowledge Organization. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. p. 335–343.