

CONDIÇÕES INSTITUCIONAIS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA NA DRENAGEM URBANA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA QUALITATIVA DAS CAPITAIS BRASILEIRAS

*Alesi Teixeira Mendes ¹; Conceição de Maria Albuquerque Alves ²; Francisco Silva Pinto ³ & Rui
Cunha Marques ⁴*

RESUMO – As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) representam uma alternativa às abordagens convencionais de sistemas de drenagem urbana, integrando processos ecológicos ao manejo de águas pluviais urbanas. Apesar do reconhecimento crescente de seus benefícios diretos e indiretos, sua adoção permanece limitada no Brasil. Este trabalho investiga as condições institucionais que favorecem a implementação de SbN nos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (DMAPU) das 27 capitais estaduais brasileiras. Utilizou-se a Análise Comparativa Qualitativa, em sua versão *crisp-set* (csQCA) com dados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (Munic), organizada em 11 variáveis distribuídas em cinco dimensões: equipe municipal, marcos legais, recursos financeiros, participação comunitária e conhecimento técnico. Os resultados preliminares indicam que nenhuma condição é estritamente necessária para a adoção de SbN. Contudo, capacitação de pessoal, participação comunitária, alocação orçamentária e presença de ouvidoria municipal apresentaram alta consistência e relevância empírica. Em relação à suficiência, essas mesmas condições demonstraram associação sistemática com o resultado. A multiplicidade de caminhos evidencia o caráter equifinal do processo de adoção, indicando que diferentes combinações institucionais podem levar ao mesmo resultado.

Palavras-Chave – Soluções Baseadas na Natureza; Drenagem Urbana; QCA.

ABSTRACT – Nature-based Solutions (NbS) offer an alternative to conventional urban drainage approaches by integrating ecological processes into stormwater management. Despite growing recognition of their benefits, their adoption remains limited in Brazil. This study investigates the institutional conditions that favor the implementation of NBS in urban stormwater drainage and management services in Brazil's state capitals. We used crisp-set Qualitative Comparative Analysis (csQCA), with data from the Municipal Basic Information Survey (Munic), organized into 11 variables distributed across five dimensions: municipal staff, legal frameworks, financial resources, community participation, and technical knowledge. The results indicate that no single condition is strictly necessary for the adoption of NbS. However, staff training, community participation, budget allocation, and the presence of a municipal ombudsman office showed high consistency and empirical relevance. Regarding sufficiency, these same conditions demonstrated a systematic association with the outcome. The multiplicity of pathways highlights the equifinal nature of the adoption process, indicating that different institutional combinations can lead to the same outcome.

Keywords – Nature-Based Solutions; Urban Drainage; QCA.

1) Universidade de Brasília, PTARH, 70297-400 Brasília, Brasil, alesitmendes@gmail.com

2) Universidade de Brasília, PTARH, 70297-400 Brasília, Brasil, alesitmendes@gmail.com

3) Universidade Lusófona, RCM2+, 1749-024 Lisbon, Portugal, francisco.pinto@ulusofona.pt

4) Universidade Lusófona, RCM2+, 1749-024 Lisbon, Portugal, rui.marques@ulusofona.pt

1. INTRODUÇÃO

A drenagem urbana no Brasil enfrenta pressões crescentes decorrentes da expansão das superfícies impermeáveis, das mudanças climáticas e de um modelo histórico centrado na rápida remoção das águas pluviais por sistemas convencionais (Kuwahara et al., 2025; Novaes & Marques, 2023). Esse modelo tem demonstrado limitações evidentes, não apenas por transferir impactos a comunidades à jusante, mas pelo custo elevado e pela incapacidade de tratar o escoamento superficial em sua origem, além de não incorporar benefícios ambientais e ecológicos ao ambiente urbano (Christofidis et al., 2020).

As soluções baseadas na natureza (SbN) emergem como alternativa a essa lógica, integrando elementos e processos naturais ao manejo das águas pluviais urbanas. Apesar do suporte crescente de políticas nacionais, inclusive com a publicação da NR 12/2025, a primeira norma regulatória da Agência Nacional de águas e Saneamento Básico (ANA) dedicada aos serviços de DMAPU, apenas 1.309 dos 5.570 municípios brasileiros reportaram adotar alguma SbN (IBGE, 2024). Cidades com mais de 100 mil habitantes constituem exceção: mais da metade delas reporta adoção. No restante, 75,5% dos municípios com serviços de DMAPU ainda não implementaram nenhuma dessas soluções ou desconhecem o conceito.

Diante desse cenário, a questão que orienta este trabalho é: quais condições institucionais estão associadas à adoção de SbN nas capitais estaduais brasileiras? O objetivo é identificar e avaliar essas condições por meio da Análise Comparativa Qualitativa, em sua versão *crisp-set* (csQCA), distinguindo entre condições necessárias, sem as quais o resultado não ocorre, e condições suficientes, isto é, cuja presença está sistematicamente associada ao resultado.

2. METODOLOGIA

2.1. Seleção dos casos

Foram selecionadas as 27 capitais estaduais brasileiras. A escolha se justifica por razões metodológicas e substantivas: são, em geral, os municípios mais desenvolvidos, em termos institucionais, de seus estados, oferecem dados históricos mais completos sobre governança da DMAPU e tendem a estar na vanguarda da implementação de políticas públicas posteriormente replicadas por municípios menores.

A QCA não depende de inferência estatística para a relação causal, o que torna a amostragem intencional adequada, favorecendo casos bem documentados e ricos em contexto institucional (Schneider & Wagemann, 2010).

2.2. Fonte de dados

A principal fonte de dados foi o módulo de drenagem urbana da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (Munic) edição 2023 (IBGE, 2024). Esse módulo é composto de 41 questões sobre padrões de adoção, barreiras à implementação e incentivos institucionais, incluindo uma seção específica sobre SbN. As capitais que reportaram adoção de ao menos uma SbN, foram classificadas como casos positivos; as demais, como negativos. Dois casos com dados ausentes foram complementados por fontes externas: para reg02 (ver Tabela 1), Manaus foi codificada como “sim” com base na Lei Municipal nº 1.192/2007; para a adoção de SbN, Cuiabá foi codificada como “sim” com base em informações registradas no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Sinisa).

2.3. Condições causais

As variáveis foram definidas a partir de uma revisão da literatura sobre barreiras à implementação de sistemas sustentáveis de drenagem, abrangendo publicações de janeiro de 2000 a abril de 2025. Foram selecionadas 11 condições causais agrupadas em cinco dimensões, conforme apresentado na Tabela 1. A variável de resultado (nbs01) indica se o município adotou alguma SbN para o manejo de águas pluviais.

Tabela 1 – Condições causais para a análise QCA.

Dimensão	Variável	Descrição
Equipe municipal	mun01	Equipe exclusiva para gestão de águas pluviais
	mun02	Capacitação de pessoal
Leis e regulamentos	reg01	Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais
	reg02	Incentivos/legislação para adoção de soluções de retenção
	reg03	Incentivos/legislação para redução de áreas impermeáveis
Recursos financeiros	fin01	Recebimento de recursos/investimentos para os SDU
	fin02	Alocação orçamentária municipal para os SDU
Participação comunitária	com01	Mecanismos de participação comunitária
	com02	Ouvidoria municipal ou central de atendimento ao cidadão
Conhecimento técnico	tec01	Inventário e/ou mapeamento do sistema de drenagem
	tec02	Política municipal de educação ambiental

2.4. Procedimento analítico

A csQCA utiliza álgebra booleana para identificar relações causais determinísticas, enfatizando a causalidade configuracional: os resultados são explicados por padrões específicos de condições atuando em combinação, não por variáveis isoladas. Foram avaliadas condições necessárias (presentes sempre que o resultado ocorre) e suficientes (cuja presença está sempre associada ao resultado). As análises foram realizadas com o pacote QCA no R (Dusa & Thiem, 2006).

3. RESULTADOS

3.1. Tabela-verdade

A análise identificou 23 configurações distintas entre as 27 capitais. A maioria das cidades apresentou combinação única de condições causais. Apenas duas configurações foram compartilhadas: Belo Horizonte e Porto Alegre; e Rio de Janeiro, São Paulo e Curitiba. Este último grupo representa as cidades com maior número de condições institucionais presentes, e não por acaso são aquelas que historicamente lideraram a estruturação dos serviços de DMAPU no Brasil, com Planos Diretores de Drenagem entre os primeiros do país, elaborados entre o final dos anos 1990 e início dos 2000.

As cidades sem adoção de SbN e com menor número de condições institucionais concentram-se nas regiões Norte e Nordeste, refletindo as desigualdades regionais históricas no acesso à infraestrutura de saneamento.

3.2. Análise de necessidade

Nenhuma condição causal se qualificou como estritamente necessária para a adoção de SbN. Em todos os casos, o resultado ocorreu tanto na presença quanto na ausência de cada condição individual; o que é esperado em análises de casos reais, onde a necessidade perfeita é incomum.

Os resultados completos são apresentados na Tabela 2. Nenhuma condição atingiu o limiar padrão de consistência para necessidade ($inclN \geq 0,90$).

Tabela 2 – Análise de necessidade das condições causais.

Condição	inclN	RoN	covN
mun01	0,778	0,462	0,667
mun02	0,857	0,667	0,857
reg01	0,800	0,400	0,571
reg02	0,833	0,353	0,476
reg03	0,889	0,316	0,381
fin01	0,750	0,667	0,857
fin02	0,792	0,750	0,905
com01	0,850	0,600	0,810
com02	0,760	0,750	0,905
tec01	0,688	0,375	0,524
tec02	0,737	0,462	0,667

inclN: consistência para necessidade; RoN: relevância da condição; covN: cobertura

Embora sem atingir o limiar formal, capacitação de pessoal (mun02) e mecanismos de participação comunitária (com01) destacam-se com os valores mais elevados de inclN (0,857 e 0,850) e RoN acima de 0,60, patamar de relevância empírica reconhecido na literatura (Duşa, 2019). As condições recebimento de recursos (fin01) e alocação orçamentária municipal (fin02) também se sobressaem, com alta cobertura ($covN \geq 0,857$) e forte relevância empírica ($RoN \geq 0,667$), ainda que com consistência ligeiramente inferior. Os resultados relevantes da análise combinada são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Seleção de combinações de condições com maior consistência para necessidade.

Condições combinadas	inclN	RoN	covN
com01 + ~tec01	1,000	0,500	0,875
mun02 + ~tec01	0,952	0,571	0,870
com01 + ~tec02	0,952	0,571	0,870
~mun01 + mun02	0,905	0,500	0,826
mun02 + ~fin01	0,905	0,625	0,864
mun02 + ~fin02	0,905	0,500	0,826
mun02 + ~com02	0,905	0,625	0,864
mun02 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
reg01 + com01	0,905	0,500	0,826
reg02 + com01	0,905	0,500	0,826
reg03 + com01	0,905	0,500	0,826
reg01 + reg02 + ~tec01	0,905	0,500	0,826
mun01 + reg01 + reg02 + reg03	0,905	0,500	0,826
mun01 + reg01 + reg02 + ~fin01	0,905	0,500	0,826
mun01 + reg01 + reg02 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
mun01 + reg01 + reg03 + ~fin01	0,905	0,500	0,826
mun01 + reg01 + ~fin01 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
mun01 + reg02 + reg03 + ~fin01	0,905	0,500	0,826
mun01 + reg02 + ~fin01 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
~mun01 + reg03 + ~tec01 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
reg01 + reg02 + ~fin01 + ~tec02	0,905	0,625	0,864
reg01 + ~fin01 + ~fin02 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
reg01 + ~fin01 + ~com02 + ~tec02	0,905	0,625	0,864
reg02 + ~fin01 + ~tec01 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
~mun01 + reg03 + ~fin01 + ~com02 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
reg01 + reg02 + reg03 + ~fin01 + ~fin02	0,905	0,500	0,826
reg01 + reg02 + reg03 + ~fin01 + ~com02	0,905	0,625	0,864
reg01 + reg02 + ~fin01 + ~fin02 + ~com02	0,905	0,500	0,826
reg01 + reg02 + ~fin02 + ~com02 + ~tec02	0,905	0,500	0,826
reg01 + reg03 + ~fin01 + ~fin02 + ~com02	0,905	0,500	0,826
reg02 + ~fin01 + ~fin02 + ~com02 + ~tec02	0,905	0,500	0,826

Nota: ~ indica negação da condição (ausência). inclN = consistência; RoN = relevância; covN = cobertura.

A análise combinada de condições revelou configurações que se aproximam ainda mais do critério de necessidade ($inclN \geq 0,90$). A combinação com01 (participação comunitária) + ~tec01 (inventário do sistema) alcançou $inclN = 1,000$ e $covN = 0,875$. Esse foi o resultado mais expressivo de toda a análise. Isso indica que a presença de mecanismos de participação comunitária, mesmo na ausência de mapeamento técnico formal do sistema de drenagem, é uma característica comum a praticamente todos os casos positivos.

É importante ressaltar que as condições negadas (~) presentes nas combinações não devem ser interpretadas como ausências benéficas. Elas indicam que algumas cidades conseguiram adotar SbN apesar de determinadas limitações institucionais, revelando caminhos de superação de barreiras, não vantagens causadas pela ausência dessas condições.

3.3. Análise de suficiência

Os resultados da análise de suficiência estão na Tabela 4. A alocação orçamentária (fin02) e ouvidoria municipal (com02) alcançaram $inclS = 0,905$, o maior valor observado. Capacitação de pessoal (mun02) e recebimento de investimentos (fin01) atingiram $inclS = 0,857$. Todos esses valores estão acima do limiar mínimo aceitável de 0,75 sugerido por Ragin (2008).

Tabela 4 – Análise de suficiência das condições causais.

Condição	inclS	PRI	covS
mun01	0,667	0,667	0,778
mun02	0,857	0,857	0,857
reg01	0,571	0,571	0,800
reg02	0,476	0,476	0,833
reg03	0,381	0,381	0,889
fin01	0,857	0,857	0,750
fin02	0,905	0,905	0,792
com01	0,810	0,810	0,850
com02	0,905	0,905	0,760
tec01	0,524	0,524	0,688
tec02	0,667	0,667	0,737

inclS: consistência para suficiência; PRI: Redução Proporcional na Inconsistência; covS: cobertura.

As condições legais (reg01, reg02, reg03) e o mapeamento técnico (tec01) obtiveram valores baixos de $inclS$ e PRI quando avaliados individualmente, indicando que, por si sós, não são suficientes para explicar o resultado. No entanto, sua relevância pode emergir como parte de combinações causais mais complexas.

3.4. Caminhos causais suficientes

A equação lógica reduzida sintetiza os caminhos mínimos suficientes para a adoção de SbN. A análise identificou 14 configurações causais individualmente suficientes para o resultado, ilustrando o conceito de equifinalidade (Ragin, 1987): diferentes combinações de condições contextuais podem produzir o mesmo resultado. Não existe uma única combinação ideal. O resultado pode emergir de distintos arranjos institucionais, de governança e de disponibilidade de recursos.

Entre os padrões que aparecem de forma recorrente nos caminhos suficientes, destacam-se os mecanismos de financiamento (fin01 e fin02) e as ferramentas de participação comunitária (com01 e com02), que figuram na maioria das 14 configurações. Isso reforça a centralidade dessas condições para explicar a adoção de SbN nas capitais brasileiras.

4. DISCUSSÃO

Os resultados convergem com o diagnóstico sobre os serviços de DMAPU no Brasil. Os dados da Munic (IBGE, 2024) revelou que a principal barreira apontada pelos municípios é a falta de incentivos financeiros e alocação orçamentária, citada por 51,56% das cidades; seguida pela ausência de pessoal qualificado (38,82%) e de legislação pertinente (38,64%).

Os achados da aplicação do QCA dialogam diretamente com essas barreiras. A capacitação de pessoal (mun02) se mostrou ao mesmo tempo potencialmente necessária e suficiente, o que a coloca como condição institucional prioritária. Ter equipe exclusiva dedicada à drenagem (mun01), por outro lado, não se mostrou nem necessário nem suficiente isoladamente, sugerindo que o que importa não é a existência de uma estrutura dedicada.

A participação comunitária (com01 e com02) apresentou alta consistência tanto para necessidade quanto para suficiência, um resultado relevante dado que a mobilização social aparece apenas em sétimo lugar entre as barreiras apontadas pelas cidades. Isso sugere uma subestimação do papel da participação na governança da DMAPU: quando presente, ela está fortemente associada à adoção de SbN.

Os recursos financeiros (fin01 e fin02) confirmam o que a literatura internacional aponta como um dos principais obstáculos à implementação de sistemas sustentáveis de drenagem (Dhakal & Chevalier, 2016; Vasconcelos et al., 2022; Veiga et al., 2021). No contexto brasileiro, essa fragilidade é estrutural: as transferências federais e estaduais são a principal fonte de financiamento para projetos de drenagem de grande escala, mas são irregulares e condicionadas a iniciativas específicas. As cobranças pelo serviço de DMAPU, que poderiam oferecer sustentabilidade financeira de longo prazo, são praticamente inexistentes (Mendes & Alves, 2026).

Ademais, os marcos legais (reg01, reg02, reg03), apesar de frequentemente citados como barreira, não se mostraram condições necessárias nem suficientes de forma isolada. Isso não significa que sejam irrelevantes; significa que algumas cidades encontraram formas de implementar SbN mesmo na ausência de instrumentos legais específicos (Wütrich et al., 2026). Quando combinados com participação comunitária (com01), no entanto, os frameworks legais passam a apresentar consistência relevante para necessidade (inclN = 0,905).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho investigou as condições institucionais associadas à adoção de SbN nos serviços de DMAPU das 27 capitais estaduais brasileiras, utilizando a csQCA. Resultados iniciais mostraram que nenhuma condição se qualificou como estritamente necessária. Contudo, capacitação de pessoal (mun02), mecanismos de participação comunitária (com01), alocação orçamentária (fin02) e ouvidoria municipal (com02) apresentaram alta consistência, cobertura e relevância empírica, sendo fortemente associadas à adoção de SbN. Sua ausência tende a dificultar significativamente a implementação dessas soluções.

Quanto à suficiência, as mesmas condições, acrescidas de Recebimento de recursos (fin01), demonstraram associação sistemática com o resultado. A presença de 14 caminhos causais suficientes distintos evidencia a equifinalidade: não existe um arranjo institucional único e ideal, mas certos elementos, sobretudo financeiros e de participação, aparecem de forma recorrente nas configurações bem-sucedidas.

Do ponto de vista prático, os resultados oferecem um retrato empírico de condições que favorecem à adoção de SbN podendo configurar como orientação para cidades interessadas em avançar na adoção de SbN. Prioridade deve ser dada à capacitação das equipes técnicas, à criação ou fortalecimento de mecanismos de participação social, e à garantia de fontes estáveis de financiamento para os serviços de DMAPU. Embora esses elementos não garantam o resultado por si sós em todos os contextos, sua presença está sistematicamente associada ao sucesso.

REFERÊNCIAS

- CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. (2020). A evolução histórica da drenagem urbana: Da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde em Debate*, 43, 94–108. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S307>
- DHAKAL, K. P.; CHEVALIER, L. R. (2016). Urban Stormwater Governance: The Need for a Paradigm Shift. *Environmental Management*, 57(5), 1112–1124. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0667-5>

DUŠA, A. (2019). *Qca with R: A Comprehensive Resource*. Springer.

DUSA, A.; THIEM, A. (2006). *QCA: Qualitative Comparative Analysis* [Conjunto de dados]. The R Foundation. <https://doi.org/10.32614/cran.package.qca>

IBGE. (2024). *Perfil dos municípios brasileiros: Gestão do saneamento básico: Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais: 2023*. IBGE.

KUWAHARA, M. Y.; CATTANI, Y. N.; SILVA, R. I. D.; MAIA, J. D. S. Z.; GÓES, G. S. (2025). Governança da drenagem urbana e resiliência climática: Desafios institucionais e experiências subnacionais no Brasil. *Boletim Regional Urbano e Ambiental*, (35), 115–124. <https://doi.org/10.38116/brua35art9>

MENDES, A. T.; ALVES, C. D. M. A. (2026). Asymmetries in water and sanitation services and how they are shaping urban drainage and stormwater management in Brazil. *Utilities Policy*, 98, 102114. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2025.102114>

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, 29, 85–98. <https://doi.org/10.38116/brua29art7>

RAGIN, C. C. (1987). *The comparative method: Moving beyond qualitative and quantitative strategies*. University of California Press. <http://archive.org/details/comparativemetho0000ragi>

RAGIN, C. C. (2008). *Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and Beyond*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/R/bo5973952.html>

SCHNEIDER, C. Q.; WAGEMANN, C. (2010). Standards of Good Practice in Qualitative Comparative Analysis (QCA) and Fuzzy-Sets. *Comparative Sociology*, 9(3), 397–418. <https://doi.org/10.1163/156913210X12493538729793>

VASCONCELOS, A. F.; BARBASSA, A. P.; SANTOS, M. F. N.; IMANI, M. A. (2022). Barriers to sustainable urban stormwater management in developing countries: The case of Brazil. *Land Use Policy*, 112, 105821. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105821>

VEIGA, M. M., CASTIGLIA-FEITOSA, R.; MARQUES, R. C. (2021). Analyzing barriers for stormwater management utilities. *Water Supply*, 21(4), 1506–1513. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.024>

WÜTRICH, F., DIEP, L.; GADDA, T. M. C. (2026). An overview of the institutionalization of nature-based solutions in Brazilian cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 118, 129308. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2026.129308>