

ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA E GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTRATÉGIAS DE CIDADES INTELIGENTES NO NORDESTE DO BRASIL

**CLIMATE ADAPTATION AND STORMWATER MANAGEMENT:
SMART CITY STRATEGIES IN NORTH EASTERN BRAZIL**

ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA E GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTRATÉGIAS DE CIDADES INTELIGENTES NO NORDESTE DO BRASIL

CLIMATE ADAPTATION AND STORMWATER MANAGEMENT: SMART CITY STRATEGIES IN NORTHEASTERN BRAZIL

Camila Calmon de Assis¹ • Anderson Gomes de Oliveira²

Data de recebimento: 25/06/2025

Data de aceite: 25/11/2025

1 Mestranda em Desenvolvimento Regional e Urbano pela Universidade Salvador (UNIFACS), com Pós-graduação em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais em Edificações pela mesma instituição. MBA em Gestão de Negócios Imobiliários e da Construção Civil pela Universidade Cândido Mendes (UCAM), com graduação em Engenharia Civil pela UNIFACS.
E-mail: calmoncamila@gmail.com

2 Doutor em Geografia pela Universidade de Santiago de Compostela - Espanha, Pós-Doutor em Desenvolvimento Regional e Urbano pela UNIFACS. Professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Urbano do PPDRU/UNIFACS. Professor colaborador do PLANERR - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial (Mestrado Profissional) da UEFS. Coordenador de Recursos Naturais e Ambientais (SEI/BA).
E-mail: anderson.gomes@animaeducacao.com.br

RESUMO

Esse artigo aborda a temática das tecnologias utilizadas em cidades inteligentes para a adaptação às mudanças climáticas, com foco na concepção do manejo e gerenciamento das águas. Objetiva-se através deste, evidenciar a importância das soluções baseadas na inteligência das cidades para atenuar às mudanças climáticas relacionadas à gestão das águas, com vistas a situação da região Nordeste brasileira. Justifica-se a importância desse debate, porque a sociedade tem se preocupado com as consequências das mudanças climáticas na vida humana, no meio ambiente, na resiliência das cidades, e outros aspectos da conjuntura antropológica. A metodologia utilizada para atingir o objetivo desse artigo foi a triangulação intermétodos e a revisão bibliográfica e documental. Como resultados alcançados, esse artigo fornece um diagnóstico e uma demonstração das técnicas, tecnologias e procedimentos adotados nas urbes inteligentes com a finalidade de se adaptar às mudanças climáticas em relação às águas, destacando o contexto da região Nordeste do país. Conclui-se através desse, que as estratégias utilizadas em cidades inteligentes para adaptação às mudanças climáticas atuam na resiliência e sustentabilidade das urbes, melhorando a qualidade do meio ambiente e da vida da população.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Recursos Hídricos; Estratégias; Cidades Inteligentes; Adaptação.

ABSTRACT

This article addresses the theme of technologies used in Smart Cities for Adaptation to Climate Change, focusing on the design of water management and management. The objective of this study is to highlight the importance of Solutions based on the Intelligence of Cities to mitigate Climate Change related to Water Management, with a view to the situation of the Brazilian Northeast Region. The importance of this debate is justified because society has been concerned with the consequences of Climate Change on human life, on the environment, on the resilience of cities, and other aspects of the anthropological conjuncture. The methodology used to achieve the objective of this article was the Intermethod Triangulation and the Bibliographic and Documentary Review. As results achieved, this article provides a diagnosis and a demonstration of the techniques, technologies and procedures adopted in Smart Cities in order to adapt to Climate Change in relation to water, highlighting the context of the Northeast Region of the country. It is concluded that the Strategies used in Smart Cities for Adaptation to Climate Change act on the resilience and sustainability of cities, improving the quality of the environment and the life of the population.

Keywords: Climate Change; Water Resources; Strategies; Smart Cities; Adaptation.

INTRODUÇÃO

Os impactos das mudanças climáticas são observados na agricultura, costas marinhas, ecossistemas, energia, florestas, recursos hídricos, saúde humana, sociedade e transporte. Estudos apontam para o drástico impacto no setor hídrico que pode gerar desde aumentos de temperatura, elevação das taxas de evapotranspiração, até numa maior demanda por água; assim como podem causar desequilíbrios nos padrões de precipitação, aumentando a intensidade da chuva ou o intervalo entre eventos de precipitação (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Chuvas mais intensas aumentam a gravidade de enchentes, que por sua vez ameaçam a segurança da vida humana. Por outro lado, períodos alongados sem chover e volumes reduzidos de precipitação, podem resultar em secas, que por sua vez põem em risco o abastecimento de água e de alimentos. Dessa forma percebe-se os impactos gerados pelas mudanças climáticas nas urbes a partir da formação de dois grupos: o primeiro refere-se aos impactos em variáveis de gestão de água, como por exemplo, as infraestruturas de abastecimento de água e sistemas de drenagem urbana; e o segundo alude aos impactos em variáveis de uso da água, sobretudo, o uso da água a montante e a jusante de um corpo hídrico e a qualidade da água, envolvendo inclusive a produção de energia elétrica (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Como os impactos das mudanças climáticas afetam diversos setores, especialmente o hídrico, pondo em risco a vida humana e os ecossistemas, esse artigo objetiva evidenciar a importância dos métodos inteligentes para promover a adaptação às mudanças climáticas pertinentes a gestão dos recursos hídricos, demonstrando a situação do uso desses artifícios na região Nordeste brasileira (SNIS, 2022) e (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Esse estudo se justifica porque a sociedade tem se preocupado com as consequências das mudanças climáticas na vida humana, no meio ambiente, na resiliência das cidades, e outros aspectos da conjuntura antropológica. Nesse momento, a humanidade está tentando ajustar ações para contornar os riscos e os problemas desencadeados a partir de alterações no clima ambiental. Assim sendo, os grupos humanos podem promover o desenvolvimento de cidades sustentáveis, resilientes e responsivas às necessidades das gerações humanas atuais e futuras, com um olhar voltado a realidade de cada região brasileira (ONU, 2015; Connor, Coates, Uhlenbrook e Koncagii, 2018; Elgendi, Hassini

e Coulibaly, 2024; e ITU, 2024).

Dentro da temática proposta optou-se por abordar a forma como as estratégias aplicadas em cidades inteligentes têm atuado na adaptação às mudanças climáticas, no tocante à gestão das águas, considerando a situação da região Nordeste brasileira. Portanto, para discorrer sobre o assunto dessa maneira foi realizada uma pesquisa qualitativa e quantitativa com revisão bibliográfica e documental baseada na triangulação intermétodos (Marcondes e Brisola, 2014; Santos, Ribeiro, Queiroga, Silva e Ferreira, 2017 e Elgendi, Hassin e Coulibaly, 2024).

A partir das informações levantadas, este artigo foi dividido em cinco seções. A inicial trata da introdução; a segunda seção demonstra a metodologia utilizada para a construção do artigo; a terceira seção traz um referencial teórico mundial e brasileiro das soluções inteligentes e do contexto de mudanças climáticas no tocante aos recursos hídricos, em continuidade; a quarta seção demonstra a conjuntura da gestão das águas pluviais urbanas na região Nordeste do Brasil no ano de 2022; e a quinta seção versa sobre as reflexões e conclusões sobre o tema.

METODOLOGIA

A metodologia de triangulação intermétodos adotada neste artigo combina análises qualitativas e quantitativas e amplia a coleta de informações em comparação ao uso isolado de cada abordagem. Nesse caso, aspectos da pesquisa qualitativa que não podem ser mensurados se complementam com o aprimoramento no levantamento de dados da pesquisa quantitativa. Dessa forma, há a possibilidade da compreensão de um tema sob diversos ângulos, de modo a minimizar vieses resultantes de uma única análise (Godoy, 1995; Marcondes e Brisola, 2014; Minayo, 2017 e Santos, Ribeiro, Queiroga, Silva e Ferreira, 2017).

Para compreender as diversas concepções envolvidas no contexto das mudanças climáticas, das estratégias de inteligência aplicadas nas urbes e da gestão das águas pluviais no Nordeste do Brasil, foi realizada uma pesquisa qualitativa bibliográfica e documental, aproveitando relatórios, diagnósticos e planos da ONU (2015), UNESCO (2018), IBGE (2022), FGV (2022) e SNIS (2022). Além disso, foram consultados artigos da literatura nacional e internacional que abordam o conteúdo supracitado e uma tese, entre os anos de 2018 e 2025 (Lakatos e Marconi, 2012; e Minayo, 2017).

Como técnicas de análise quantitativa foram utilizados métodos de estatística descritiva e análise exploratória, envolvendo o uso de médias, valores máximos e mínimos e percentuais para a produção desse artigo, a fim de explorar a situação da gestão das águas pluviais urbanas no Nordeste do país. Os métodos quantitativos estão embasados em procedimentos estruturados e objetivos no tratamento dos dados, e, devido a isso, funcionam como suporte corroborativo para as informações qualitativas da temática, sustentando a triangulação intermétodos realizada (Gerhardt e Silveira, 2009 e Minayo, 2017). Para que haja a correta execução de um documento pautado na análise por triangulação intermétodos é necessário o uso de um *Modus Operandi* vinculado à preparação do material coletado. Esse modo articula três aspectos para proceder à análise realizada na escrita propriamente dita, num contínuo movimento dialético.

Entre os referenciais existentes, o primeiro delimita a preparação e organização de dados empíricos, reunindo informações obtidas durante a pesquisa bibliográfica. O segundo abrange pesquisa aprofundada dos conteúdos dos autores que estudaram a temática abordada e, nesse caso, são realizadas apreciações e reflexões a partir da percepção desses autores. O terceiro aspecto está voltado a análise da conjuntura, que envolve a observação do contexto de forma mais ampla, como o caso dos panoramas descritos pelos Relatórios da ONU (2015), UNESCO (2018), IBGE (2022) e SNIS (2022) (Marcondes e Brisola, 2014). A seguir, a tabela apresenta uma síntese do modelo de análise utilizado na triangulação intermétodos aplicada nesse artigo:

Tabela 1 | Modus Operandi da triangulação de métodos aplicada à produção do Artigo

Aspecto	Etapa
1º Dados Empíricos (Coleta de Dados)	Preparação do material; Levantamento de informações concretas, contemplando a coleta de dados empíricos e narrativas dos entrevistados.
2º Pesquisa dos Autores (Fontes de Informação)	Reflexão a respeito das informações levantadas; Observações dos sujeitos e recorrência aos autores da temática abordada.
3º Análise da Conjuntura (Interpretação)	Construção e síntese; Análise do contexto mais amplo e mais abstrato da realidade. Entendimento das estruturas que permeiam a vida em sociedade.

Fonte: elaboração dos autores, baseada em Marcondes e Brisola (2014).

ESTRATÉGIAS PARA ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Segundo o IPCC, mudanças climáticas são transformações no estado do clima que são identificadas por alterações na variabilidade de suas propriedades persistentes por um período prolongado, geralmente maiores do que uma década. Elas são desencadeadas por muitos fatores, desde o aumento induzido pelo homem no uso de aerossóis, emissão de gases do efeito estufa, até por mudanças no uso da terra (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Como consequências dessas situações pode ocorrer o aumento da temperatura e a elevação das taxas de evapotranspiração, exacerbando a demanda por água. As mudanças climáticas também podem gerar flutuações nos padrões e na intensidade de precipitação, provocando enchentes, alagamentos ou períodos de seca. Junto às enchentes e alagamentos, ocorre a propagação de doenças de veiculação hídrica que põem em risco a vida da população (Connor, Coates, Uhlenbrook Koncagiiil, 2018; Christofidis, Assumpção e Kligerman, 2019; e Elgendi, Hassini, Coulibaly, 2024).

Para mitigar as consequências das mudanças climáticas nos recursos hídricos são necessários, conforme Elgendi Hassini e Coulibaly (2024), procedimentos de adaptação proativos, sustentáveis e urgentes. De tal modo, a adaptação às mudanças climáticas é definida pelo IPCC como processo de adequação ao clima real ou esperado e suas decorrências e, a depender dos objetivos almejados, podem ser classificadas em duas tipologias: a primeira qualificada como redução da emissão dos gases do efeito estufa; e a segunda rotulada como estratégias de adaptação às mudanças climáticas (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Já no que diz respeito à temática das cidades inteligentes, a ONU HABITAT III (2015) informa que existem muitas definições voltadas para “cidades inteligentes” e “abordagens inteligentes” e essas definições podem ser entendidas de formas diferentes, por pessoas e setores diferentes. Em algumas definições considera-se que essas localidades são aquelas que possuem infraestrutura econômica, física, institucional e social “inteligentes” e promovem a centralidade dos cidadãos em um ambiente sustentável (ONU, 2015).

Em outras definições, o conceito de cidades inteligentes está voltado para ações e Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) inovadoras, que assegurem o atendimento às necessidades de gerações atuais e futuras no que diz respeito aos aspectos ambientais, econômicos e sociais (ONU,

2015; Raccichini, Rosilho, Cazumba, Pinto, Liandro, Santos *et al*, 2022; e ITU, 2024). Existem também, definições que enxergam esse tipo de centro urbano como sendo um processo e não um resultado estático, em que o engajamento do cidadão, as tecnologias digitais, a infraestrutura pesada e o capital social constituem cidades mais habitáveis e resilientes, capazes de responder ligeiramente a novos desafios (ONU, 2015).

Para esse artigo será dado foco ao conceito de cidades inteligentes voltado às características-chave acentuadas por fatores distintos, sendo eles: ambiente, economia, governança, mobilidade, pessoas, vida, entre outros aspectos classificados como “inteligentes”, com foco no uso de procedimentos inovadores baseados em abordagens e tecnologias que melhorem a eficiência e resiliência das localidades urbanas (ONU, 2015; Raccichini, Rosilho, Cazumba, Pinto, Liandro, Santos *et al*, 2022; e ITU, 2024).

E como a temática desse artigo está direcionada para as estratégias baseadas na inteligência das urbes no tocante às mudanças climáticas no limiar dos recursos hídricos, serão apresentados métodos de adequação, em consonância com técnicas de inovação aprimoradas em abordagens e tecnologias que melhorem a eficiência e a resiliência das localidades (ONU, 2015; Raccichini, Rosilho, Cazumba, Pinto, Liandro, Santos *et al*, 2022 e ITU, 2024). Dentre elas, podem ser citadas as seguintes:

I. Estratégias Baseadas na Natureza: Conforme Connor; Coates; Uhlenbrook; Koncagil (2018) no Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, as Soluções baseadas na Natureza (SbN) são inspiradas e apoiadas pela natureza e utilizam, ou simulam, os processos naturais a fim de colaborar para o aprimoramento da gestão da água. Elas podem envolver a conservação ou a reabilitação de ecossistemas naturais, assim como o desenvolvimento ou a criação de artifícios naturais em ecossistemas modificados ou artificiais. Essas soluções podem ser aplicadas em escalas macro, como em paisagens, ou em escalas micro, como os banheiros secos (Connor, Coates, Uhlenbrook e Koncagil, 2018).

Já Elgendi, Hassini e Coulibaly (2024) denominam esse tipo de solução como “Estratégias baseadas em Ecossistemas” e explanam que elas podem ser aplicadas no nível de campo, incluindo drenos de contorno, muros de contorno e jardinagem doméstica; ou a nível de bacias hidrográficas,

que incluem reflorestamento ou florestamento; ou a nível de faixas de proteção ribeirinhas localizadas em proximidade a riachos, lagoas ou córregos. Para os autores, esse modelo de estratégia objetiva aliviar inundações a partir do aumento da captura de águas pluviais e infiltração; diminuir a emissão de gases do efeito estufa; e realizar o controle da qualidade/quantidade da água, reduzindo erosões no solo (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Como exemplos de Estratégias baseadas na Natureza ou em Ecossistemas, são citadas no caso dos ambientes urbanos, os pântanos naturais ou parques urbanos e os telhados verdes, conforme Elgendi, Hassini e Coulibaly (2024). Já nas costas dos municípios, os autores citam os manguezais, dunas e recifes de barreira e pântanos costeiros para evitar a destruição estrutural ao absorver a energia das ondas e diminuir o impacto das tempestades em áreas elevadas. No Brasil existem também unidades de conservação ou proteção em áreas costeiras para auxiliar no amortecimento de eventos climáticos intensos, e promover oportunidades e benefícios para a comunidade local. Há ainda estratégias baseadas na criação de novos ecossistemas onde a natureza já não está mais presente, como os jardins de chuva e telhados verdes (Marques, Rizzi, Ferraz, Herzog, 2021; e Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

II. Estratégias Baseadas em Resiliência: Conforme Matiazz e Bragança (2018), o conceito de resiliência urbana possui como principal foco a gestão e redução de riscos de desastres, abordando igualmente choques econômicos, tensões ambientais e sociais. Para os autores, cidades resilientes são aquelas que ressaltam a maneira como os governos lidam, sobretudo, com as mudanças climáticas, e com os fatores ligados as realidades geográficas e socioeconômicas. Elas são cidades seguras para seus habitantes e lhes proporciona qualidade de vida (Matiazz e Bragança, 2018).

Dentro desse contexto, Elgendi, Hassini e Coulibaly (2024) trazem, como exemplos de Estratégias Baseadas em Resiliência, técnicas de mapeamento de resiliência, medidas resistentes e resilientes baseadas em propriedade, seguros contra inundações e construção de resiliência social. Além disso, os autores citam serviços públicos de água inteligente, agendamento compartilhado de diversas fontes de água e vinculação de gerenciamento de sistemas de água com medidas de controle de inundações usando inteligência artificial.

Ainda podem ser citados exemplos de melhores práticas de gestão de recursos hídricos, contemplando o uso de pavimentos porosos, sistemas de coleta de água da chuva e biorretenção

atuando em conjunto, para manejá-la chuva de uma cidade costeira que passa por enchentes e alagamentos em períodos chuvosos, para uma cidade em condições de seca, que passa por falta d'água em longos períodos do ano. Nesse caso, deve ser realizada uma investigação de áreas propensas a inundações ou secas, com seus pontos fortes e fracos, oportunidades e ameaças (Matriz SWOT), que ajudem a selecionar e alocar as melhores práticas para o aumento da resiliência nas cidades (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

III. Estratégias Baseadas em Modelagem: Conforme Sousa (2024), a modelagem é um artifício importante aplicado em sistemas hídricos para administrar investigações em escalas de espaço e tempo, que não seriam possíveis com o uso de outros métodos, dentre os quais, experimentos e observações por exemplo. Modelos hidrológicos, são também conhecidos como Modelos Chuva Vazão (MCV), e são caracterizados como ferramentas utilizadas em investigações hidrológicas, aplicadas na engenharia e em ciências ambientais. O objetivo desses modelos é descrever quantitativamente os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica (Sousa, 2024).

Complementando Sousa (2024), Elgendi, Hassini e Coulibaly (2024), abordam que as técnicas de modelagem são comumente utilizadas na previsão de mudanças climáticas, com o emprego de um modelo matemático de circulação geral de uma atmosfera planetária ou oceânica. Nesse tipo de estratégia de adaptação às mudanças climáticas, visa-se reduzir a lacuna existente entre oferta e demanda de água, de modo a preservar o esquema de alocação de recursos hídricos ou otimizá-lo. Com essas técnicas são atualizadas curvas de controle de reservatórios, são construídas represas de regulação do fluxo da água e são simuladas estimativas de previsões hidrológicas sazonais, de modo a prever anos/ períodos que serão mais secos ou mais chuvosos (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Para avaliar se as estratégias supracitadas tiveram o efeito esperado, são aplicados diferentes índices de avaliação de desempenho nos sistemas de gerenciamento dos recursos hídricos, antes e depois do uso dessas soluções para adaptação às mudanças climáticas. São utilizados Índices de Adaptabilidade para medir o efeito das estratégias em bacias de biorretenção, ou para aferir o nível de melhoria no desempenho de sistemas de drenagem urbana contra inundações. Também são utilizados Índices de Taxa de Escassez de água e proporções de abastecimento de água para avaliar o papel das diversas opções de adaptação no progresso da segurança dos recursos hídricos (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Em continuidade aos métodos de avaliação do progresso das estratégias de adaptação às mudanças climáticas, para decisões aprimoradas, são usados aspectos confiáveis baseados no meio ambiente, na economia e na sociedade. O aspecto ambiental avalia a permanência de **áreas** verdes e azuis, representando os recursos naturais (hídricos e ecossistêmicos). Já o aspecto econômico é avaliado a partir de relações custo-benefício, de modo a comparar o preço e os ganhos de diferentes opções. E os aspectos sociais medem fatores demográficos e socioeconômicos que afetam a capacidade de resiliência da comunidade (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Como exemplo dos aspectos sociais, tem-se a e-participação: classificada como uma atividade social facilitada por meio de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). Nesse caso, as TICs são elementos que asseguram a influência mútua entre cidadãos, administração pública e políticos, como partes constituintes no processo de tomada de decisão. A aplicação dessas ferramentas requer o envolvimento das partes interessadas e o uso de um exame de decisão multicritério, a fim de facilitar a tomada de decisões, envolvendo a análise de efeitos colaterais, desempenho ambiental, eficácia, eficiência e contribuições para a resolução de conflitos (Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Além disso, existem estratégias de adaptação às mudanças climáticas no que tange aos recursos hídricos, em consonância com as estratégias de inovação de cidades inteligentes. Esses elementos também compõem os sistemas de controle, gerenciamento, manejo e transporte dos recursos hídricos nas urbes, e são encarregados de mitigar a ocorrência de desastres ambientais e propagação de doenças de veiculação hídrica, promovendo a qualidade de vida, a resiliência e a sustentabilidade nas cidades (ONU, 2015), (Christofidis, Assumpção e Kligerman, 2019; Raccichini, Rosilho, Cazumba, Pinto, Liandro, Santos *et al*, 2022; e ITU, 2024).

CENÁRIO DA GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS NO NORDESTE

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2022), o Brasil possui 8.510.417,77 km² de área, e o Nordeste 1.552.175,42 km², ou seja, a região Nordeste representa 18,24% da totalidade do território brasileiro. O órgão mostra que o Brasil tem 177.508.417 de pessoas vivendo na sua zona urbana e 25.572.339 pessoas vivendo na sua zona rural. Já a Região Nordeste possui 42.446.967 pessoas vivendo na zona urbana e 12.211.548 pessoas vivendo na zona rural, números que configuraram respectivamente 23,91% e 47,75% da amostra brasileira (IBGE, 2022).

Do total dos domicílios que abrigam essas pessoas vivendo no país, 83,88% estão conectados à rede geral de água e 64,69% são abastecidos por rede de esgoto. No Nordeste 77,00% dos domicílios estão conectados à rede geral de água e 43,06% são abastecidos por rede de esgoto. É importante destacar que 8,1% da população brasileira vive em favelas, e no Nordeste, esse percentual chega a 8,5% da população (IBGE, 2022).

Favelas são conjuntos de habitações construídas de maneira informal, geralmente em terrenos irregulares de elevado risco, nos quais os serviços de infraestrutura urbana, como os de gestão de águas pluviais são precários. Esses números do IBGE refletem parte da situação das infraestruturas de saneamento básico e do manejo de águas pluviais urbanas encontradas no Brasil (IBGE, 2022) e (Guitarrara, 2025).

A seguir, o Quadro 1 resume as informações explanadas acima, conforme dados do IBGE (2022). Quanto mais preenchida com as cores verde e amarelo estiverem as **células**, a situação evidenciada estará próxima de 100% (totalidade). A cor verde representa dados do Brasil, e a cor amarela representa dados da Região Nordeste.

Quadro 1 | Demonstrativo de informações sobre território, moradia e saneamento básico no Brasil e na Região Nordeste, no Ano de 2022

Local	Área (km ²)	Percentual da área territorial em relação ao Brasil	
Brasil	8.510.417,77	100,00%	
Nordeste	1.552.175,42	18,21%	
Local	Número de pessoas que moram no Brasil	Número de pessoas que moram na Região Nordeste	Percentual de pessoas que moram na Região Nordeste em relação às pessoas que moram no Brasil
Zona Urbana	177.508.417,00	42.446.967,00	23,91%
Zona Rural	25.572.339,00	12.211.548,00	47,75%
Total	203.080.756,00	54.658.515,00	26,91%
Local	Percentual de domicílios conectados à Rede de Água	Percentual de domicílios conectados à Rede de Esgoto	Percentual de pessoas vivendo em Favelas
Brasil	83,88%	64,69%	8,1%
Nordeste	77,00%	43,06%	8,5%

Fonte: elaboração dos autores, baseado no IBGE (2022).

Com a análise do Quadro 1, percebe-se a importância de estudar as condições de saneamento básico na região Nordeste do país no tocante à gestão das águas pluviais, principalmente porque estudos voltados para essa localidade contemplam cerca de 26,91% da população brasileira (IBGE, 2022). Para complementar as informações do IBGE (2022), em relação ao manejo das águas pluviais e drenagem urbana, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, SNIS (2022), contabiliza que de um total de 4.833 municípios participantes da sua Pesquisa Nacional do Saneamento Básico e Drenagem Pluvial Urbana, 1.395 municípios pertencem a Região Nordeste, ou seja 28,86% da amostra.

Do total de municípios brasileiros, 2.108 informaram contar com Sistema Exclusivo para escoamento de águas pluviais, fazendo parte desses, 259 municípios nordestinos, ou seja 12,29% da amostra nesse quesito (SNIS, 2022). Em continuidade a Pesquisa, o SNIS (2022) informa que 526 municípios brasileiros contam com Sistema Unitário de Esgoto. O que quer dizer que 10,88% do Brasil conta com sistema que transporta águas pluviais e cargas de esgotos urbanos concomitantemente. A região Nordeste possui 40,68% da amostra brasileira nesse ponto, com um total de 214 municípios (SNIS, 2022).

Em relação aos municípios participantes da Pesquisa que possuem Sistema Combinado de Drenagem, caracterizado por haver Sistemas Exclusivos e Unitários predominando em algum trecho da rede, o total é de 1.272 municípios brasileiros. Os municípios nordestinos que fazem parte desse grupo totalizam 345, o que representa 27,12% da quantidade brasileira nesse item (SNIS, 2022). Por outro lado, os municípios brasileiros participantes da pesquisa que não tem nenhum tipo de sistema de drenagem pluvial urbana chegam a 927 e, na região Nordeste, são 577 municípios: um total de 62,24% da amostra brasileira nesse vetor. Outrossim, 199 municípios apresentam algum tipo de tratamento para as águas pluviais, sendo desses um total de 58 municípios nordestinos, perfazendo 29,15% da amostra nesse aspecto (SNIS, 2022).

Ressalta-se que o tratamento para águas pluviais é uma solução adotada para mitigar impactos ambientais em cursos hídricos. Esses impactos são oriundos da contaminação das águas da chuva, com cargas de esgotos e poluições diversas, contendo desde resíduos sólidos a dejetos de animais e erosão da pavimentação asfáltica (SNIS, 2022).

Ainda sobre o cenário das águas pluviais urbanas na região Nordeste, a partir da amostra apresentada pelo SNIS (2022), é possível afirmar que 523 municípios participantes da Pesquisa apresentam áreas públicas urbanas com Soluções de Drenagem Natural, ou Estratégias baseadas na Natureza de faixas e valas de infiltração, que são artifícios compensatórios de drenagem, compostos por áreas permeáveis ou escavações no solo para condução, infiltração e recolhimento de água da chuva. No Nordeste, o número de localidades com esses mecanismos é de 162 municípios, o correspondente a 30,98% da amostra brasileira nesse patamar. Destaca-se que essa é a maior taxa das macrorregiões do Brasil (SNIS, 2022).

Já no que se refere as Estratégias de Reservatórios de Amortecimento e Parques Lineares em áreas urbanas, o total é de 286 municípios brasileiros e 49 municípios nordestinos, que constituem 15,73% do total amostrado de localidades com reservatórios de amortecimento. Em relação a presença de parques lineares, são 359 entre as amostras no Brasil, e 29 entre os municípios do Nordeste, que totalizam 8,08% desse quesito no país (SNIS, 2022).

Os reservatórios de amortecimento são infraestruturas de drenagem construídas a fim de reduzir os picos de vazões de cheia, diminuindo o risco de enxurradas, alagamentos e inundações e protegendo as áreas mais baixas. Essas técnicas também mitigam os impactos do escoamento acelerado de águas pluviais, e diminuem a necessidade de obras extensas, como galerias e canais de custo elevado (SNIS, 2022).

Mesmo com a adoção dessas estratégias inteligentes, baseadas na natureza ou em ecossistemas, ou ainda em resiliência urbana, o SNIS (2022) observou que dos 4.833 municípios participantes da sua Pesquisa, um total de 2.945 enfrentaram eventos hidrológicos impactantes nos últimos 5 anos, tais como alagamentos, enxurradas e inundações. Dentre esses municípios, 724 foram identificados na região Nordeste, que corresponde a 24,58% dos casos no país (SNIS, 2022).

O número de pessoas desabrigadas ou desalojadas devido a esses eventos hidrológicos chegou a 522,4 mil no Brasil em 2022, conforme a amostra do SNIS (2022); e no Nordeste esse número acostou-se em 142,8 mil pessoas, num total de 27,34% do apresentado na nação. Frisa-se que esses números representam que 0,29% do total da população brasileira e 0,34% do total da população nordestina que vive nas urbes ficou desabrigada ou desalojada devido aos eventos hidrológicos no ano de

2022 (IBGE, 2022 e SNIS, 2022). Outrossim, 2,4 milhões de domicílios participantes da pesquisa do SNIS (2022), encontram-se em situação de risco de inundação. No Nordeste, esse número é de 398,1 mil domicílios, totalizando 16,59% das amostras do país. Já no sentido de planejar ações com a finalidade de evitar a ocorrência de tais desastres naturais, foi observado que 814 municípios brasileiros contam com Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – PDD, sendo 105 localizados na região Nordeste, o que corresponde a 12,90% do encontrado no Brasil (SNIS, 2022).

Conforme o SNIS (2022), o PDD é um instrumento municipal de planejamento que prevê tipos de infraestruturas de drenagem necessários à redução de riscos de eventos hidrológicos impactantes e contempla aportes financeiros para execução e manutenção dos sistemas de drenagem. Ele é constituído de medidas estruturais como as legislações, zoneamento das áreas de inundação; e estruturantes, como as obras de contenção, retenção e ampliação da capacidade de escoamento das águas da chuva, entre outros (SNIS, 2022).

Ainda no combate aos problemas gerados por catástrofes naturais dentro dos municípios brasileiros, 1.459 localidades possuem mapeamento de áreas de risco de inundação em áreas urbanas, sendo desses, 242 no Nordeste, que também perfazem 16,59% da amostra total brasileira nesse teor (SNIS, 2022). O Brasil conta ainda com 1.606 municípios participantes da Pesquisa do SNIS (2022), atuando com monitoramento de dados hidrológicos, e o Nordeste aporta 420 municípios, que totalizam 26,15% da amostra da nação. Frisa-se que 931 municípios participantes da Pesquisa apresentam alerta de eventos hidrológicos de risco, sendo 165 municípios da região Nordeste, um total de 17,72% apresentado no país nesse quesito.

A seguir, o Quadro 2 engloba as informações sobre os municípios nordestinos e brasileiros que participaram da Pesquisa Nacional do Saneamento Básico e Drenagem Pluvial Urbana do SNIS no ano de 2022. Esse quadro resume os dados sobre os diversos tipos de sistemas de drenagem urbana, estratégias inteligentes de gestão dos recursos hídricos e combate aos eventos hidrológicos de risco, assim como identifica a quantidade de pessoas e domicílios afetados por esses infortúnios relacionados às águas pluviais.

Quadro 2 | Demonstrativo de informações sobre sistemas de drenagem e estratégias inteligentes para mitigação dos impactos gerados por eventos hidrológicos de risco nos municípios brasileiros e nordestinos no ano de 2022.

Local	Total de Municípios Participantes	Quantidade de Municípios com Sistemas Exclusivos de Drenagem	Quantidade de Municípios com Sistemas Unitários de Drenagem e Esgoto	Quantidade de Municípios com Sistemas Combinados de Drenagem e Esgoto	Quantidade de Municípios que Não possuem Sistemas de Drenagem
Brasil	4.833,00	2.108,00	526,00	1.272,00	927,00
Nordeste	1.395,00	259,00	214,00	345,00	577,00
Local	Quantidade de Municípios que possuem Sistemas de Tratamento de Águas Pluviais	Quantidade de Municípios com Soluções de Drenagem Natural - Faixas e Valas de Infiltração	Quantidade de Municípios com Estratégias de Reservatórios de Amortecimento	Quantidade de Municípios com Estratégias de Parques Lineares	
Brasil	199,00	523,00	286,00	359,00	
Nordeste	58,00	162,00	45,00	29,00	
Local	Quantidade de Municípios que enfrentaram Eventos Hidrológicos Impactantes nos Últimos 5 Anos	Quantidade de Municípios com Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais	Quantidade de Municípios com Mapeamento de Áreas de Risco de Inundação	Quantidade de Municípios com Monitoramento de Dados Hidrológicos	Quantidade de Municípios com Alertas de Eventos Hidrológicos de Risco
Brasil	2.945,00	814,00	1.459,00	1.606,00	931,00
Nordeste	724,00	105,00	242,00	420,00	165,00
Local	Quantidade de Pessoas Desabrigadas ou Desalojadas devido a Eventos Hidrológicos Impactantes	Quantidade de Domicílios em Locais com Risco de Inundação			
Brasil	522.400,00	2.400.000,00			
Nordeste	142.800,00	398.100,00			

Fonte: elaboração dos autores, baseado no SNIS (2022).

Com a análise do Quadro 2, percebe-se a diversidade dos tipos de sistema de drenagem e estratégias inteligentes que vem sendo aplicadas no Brasil e na região Nordeste do país no que concerne a gestão dos recursos hídricos e controle de impactos causados por eventos hidrológicos de risco. Assim como, torna-se visível o número de pessoas e localidades impactadas por eventos hidrológicos desastrosos.

CONCLUSÕES E REFLEXÕES

A partir da conjuntura demonstrativa levantada, foi possível perceber que 80,82% dos municípios brasileiros participantes da Pesquisa de Saneamento Básico e Drenagem de Águas Pluviais do SNIS (2022), possuem algum tipo de sistema de escoamento de água da chuva, e a região Nordeste apresenta 58,64% dos seus municípios participantes da Pesquisa contemplando esses Sistemas. Porém, apenas 4,12% do país apresenta algum tipo de tratamento de águas pluviais, e o percentual na região Nordeste chega a 4,16% (SNIS, 2022).

Em relação aos objetivos que motivaram a escrita desse artigo, que pontuam sobre a forma como as estratégias aplicadas em cidades inteligentes têm atuado na adaptação às mudanças climáticas no tocante à gestão das águas, é possível afirmar que 24,17% dos municípios brasileiros que responderam ao SNIS (2022) já estão empregando estratégias utilizadas em urbanizações inteligentes para adaptação às mudanças climáticas nos recursos hídricos; assim como 16,84% desses municípios apresentam Plano Diretor de Drenagem; 30,19% mapeiam áreas de risco de inundação; 33,23% monitoram dados hidrológicos; e 19,26% contam com alertas para eventos hidrológicos de risco (SNIS, 2022).

Em relação ao Nordeste, os números são vistos da seguinte forma: 16,92% dos municípios da região que responderam ao SNIS (2022) já estão utilizando estratégias aplicadas em urbes inteligentes para se adaptarem às mudanças climáticas nos recursos hídricos; 7,53% possuem Plano Diretor de Drenagem; 17,35% apresentam mapeamento de áreas de risco de inundação; 30,11% realizam monitoramento de dados hidrológicos; e 11,83% emitem alertas para eventos hidrológicos de risco (SNIS, 2022).

Esses elementos melhoram a resiliência das urbes no sentido de planejar, diminuir, monitorar e tomar ações mais rápidas na ocorrência de desastres ambientais voltados à gestão das águas, tais como desmoronamentos, enchentes, alagamentos e enxurradas. Assim como melhoram a qualidade de vida da população e a sustentabilidade das cidades, ao articular aspectos ambientais, econômicos, sociais e de saúde, gerando progressos para populações atuais e futuras, tendo em vista que, as medidas destacadas evitam a ocorrência de catástrofes naturais, casos de pessoas desabrigadas e desalojadas, e a propagação de doenças de veiculação hídrica por sujeiras indevidas

nos corpos hídricos e por acúmulo de águas paradas nos centros urbanos (ONU, 2015), (Christofidis, Assumpção e Kligerman, 2019; SNIS, 2022; Elgendi, Hassini e Coulibaly, 2024).

Logo, conclui-se que o Brasil e a região Nordeste têm adotado estratégias e ações aplicadas em cidades inteligentes atuantes na mitigação das mudanças climáticas no tocante aos recursos hídricos, com resultados mensuráveis através de pesquisas do SNIS e IBGE, que podem ser aferidos e percebidos por meio da aplicação da metodologia de triangulação intermétodos (SNIS, 2022; IBGE, 2022).

AGRADECIMENTOS:

Ao Programa Suporte à Pós-Graduação IES Particulares (PROSUP), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A Evolução Histórica da Drenagem Urbana: Da Drenagem Tradicional à Sintonia com a Natureza. **Saúde em Debate**, Londrina, v. 43, spe 3, p. 94-108, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sdeb/a/jpNVWVZSdNRRyQS3qtWmz9g/?lang=pt>>. Acesso em: 20 mai. 2024.
- ELGENDY, M.; HASSINI, S.; COULIBALY, P.. Review of Climate Change Adaptation Strategies in Water Management. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 29, n. 1, 16p, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1061/JHYEFF.HEENG-6014>>. Acesso em: 08 set. 2024.
- GUITARRARA, P. Favela. **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/brasil/favela.htm>>. Acesso em: 08 fev. 2025.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (orgs.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS.
- GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, mar./abr. 1995.
- GOMES, M. V. R.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G. **Infraestruturas verdes e azuis como estratégia projetual de cidades mais inteligentes**. Rio de Janeiro: IV EURO ELECS, p. 1197-1209. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION - ITU. **Smart Sustainable Cities**. Focus Group on Smart Sustainable Cities. 2015. Disponível em: <<https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/pages/default.aspx#:~:text=%E2%80%9CA%20smart%20sustainable%20city%20is,generations%20with%20respect%20to%20economic%2C>>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- CONNOR, R.; COATES D.; UHLENBROOK S.; KONCAGIIL, E. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018**: soluções baseadas na natureza para gestão das águas, resumo executivo. UNESCO, Itália, 2018. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261594_por>. Acesso em: 02 jun. 2024.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARCONDES, N. A. V.; BRISOLA, E. M. A. Análise por triangulação de métodos: um referencial para pesquisas qualitativas. **Revista Univap**. São José dos Campos-SP-Brasil, v. 20, n. 35, jul. 2014.

MARQUES, T. H. N.; RIZZI, D.; FERRAZ, V.; HERZOG C. P. **Soluções baseadas na natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano**, casos do Brasil e Peru. Revista LABVERDE. FAUUSP, São Paulo, v. 11, n. 01, e189419, 2021, 38p.

MATIAZZI, G. S.; BRAGANÇA, L. **Metodologia para análise, planejamento e monitoramento de resiliência urbana**. Rede Cires e Rede Urbeneres. ISBN 978-989-20-8422-0. 2018. 10p.

MINAYO, M. C. de S.; COSTA, A. P. Fundamentos Teóricos das Técnicas de Investigação Qualitativa. **Revista Lusófona de Educação**, 2017, 40, p. 139-153.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Cidades Inteligentes**. Nova York, 2015. Disponível em: <https://habitat3.org/wp-content/uploads/21-Cidades-Inteligentes_final.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2025.

RACCICHINI, A.; ROSILHO, A. J; CAZUMBA A. R.; PINTO, H. M.; LIANDRO, J. D.; SANTOS, L. G. de M., et al. **O Caminho para Cidades Inteligentes no Brasil: o papel da infraestrutura de conectividade**. FGV EUROPE, 2022. 122 p.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico Temático Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas**. Ano de Referência 2022. Brasília: Ministério das Cidades, 80 p. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snис/produtos-do-snис/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AP_SNIS_2023.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2024.

SANTOS, K. da S; RIBEIRO, M. C; QUEIROGA, D. E. U. de; SILVA, I. A. P. da; FERREIRA, S. M. S. **O uso de triangulação múltipla como estratégia de validação em um estudo qualitativo**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 25, n. 2, p. 655-664, 2017.

SOUSA, D. S. de. **Modelagem baseada em agentes acoplada à modelagem hidrológica para avaliação de estratégias coletivas de alocação de água: o caso do Rio Urubu (TO)**. 2023. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) — Universidade de Brasília, Brasília, 2024.



UNITAU
Universidade de Taubaté