

SEGURANÇA HÍDRICA NA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB EM UM CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: uma análise pelo Modelo FPEIR

Hemilly Pereira de Andrade¹; Cybelle Frazão Costa Braga²; Mirella Leôncio Motta e Costa³; Jaqueline Aureliano da Silva⁴.

^{1,2} Discentes do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal da Paraíba - IFPB (Campus João Pessoa), Av. Primeiro de Maio, 720 - Jaguaribe, João Pessoa - PB, 58015-435.

^{3,4} Docentes do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal da Paraíba - IFPB (Campus João Pessoa), Av. Primeiro de Maio, 720 - Jaguaribe, João Pessoa - PB, 58015-435.

E-mail do autor correspondente: hemilly.andrade18@outlook.com

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios atuais, com impactos diretos sobre os sistemas naturais e sociais, especialmente nos recursos hídricos. No Brasil, esses efeitos se manifestam pelo aumento das temperaturas, alterações nas chuvas e intensificação de eventos extremos, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste (ANA, 2016; Marengo; Cunha; Alves, 2020). Diante disso, a segurança hídrica surge como elemento central para a adaptação, buscando garantir o acesso sustentável à água e a preservação dos ecossistemas (ONU, 1945; Rabelo, 2022).

O conceito, incorporado ao Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) em 2019, baseia-se no Índice de Segurança Hídrica (ISH), que considera quatro dimensões interligadas: humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência (ANA, 2019; Nunes, 2021). No Nordeste, o baixo grau de segurança hídrica reflete as condições semiáridas e a alta variabilidade das chuvas.

As mudanças climáticas, provocadas sobretudo pelas atividades humanas e pela emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2023), intensificam riscos como secas, enchentes e degradação ambiental, afetando o ciclo hidrológico e agravando a escassez hídrica (Dias, 2020). A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) visam integrar mitigação, adaptação e gestão sustentável da água, embora enfrentam desafios de implementação e governança (BRASIL, 2009; IPCC, 2023).

Nesse contexto, o estudo utiliza o modelo FPEIR (Força Motriz–Pressão–Estado–Impacto–Resposta) como ferramenta analítica para compreender as interações entre fatores socioambientais e institucionais. O modelo permite identificar causas, consequências e respostas às pressões sobre os recursos hídricos, apoiando o planejamento e a formulação de políticas públicas voltadas à resiliência climática e à gestão sustentável da água (Felinto, 2016; Braga *et al.*, 2019; Honorato, 2024).

OBJETIVO GERAL

Analisar a segurança hídrica no município de João Pessoa/PB, considerando os possíveis impactos das mudanças climáticas e as dinâmicas populacional e socioeconômica, utilizando a metodologia FPEIR Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

1. Identificar as principais forças motrizes e pressões resultantes das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos;
2. Analisar o estado atual da área de estudo e os impactos decorrentes do uso da água, considerando as diferentes dimensões da segurança hídrica;
3. Identificar as respostas propostas por políticas públicas de recursos hídricos e mudanças climáticas.

METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida com base em uma abordagem qualitativa, com caráter descritivo e explicativo, buscando compreender de forma ampla e detalhada as dinâmicas que envolvem a segurança hídrica em um contexto de mudanças climáticas. O caráter descritivo está relacionado à necessidade de expor as características e condições atuais da área de estudo, enquanto o caráter explicativo tem como finalidade analisar e interpretar os dados obtidos, proporcionando uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a gestão dos recursos hídricos e subsidiando a tomada de decisões por parte dos gestores públicos.

Quanto aos meios de investigação, a pesquisa utiliza dois tipos principais: pesquisa bibliográfica e pesquisa documental. A pesquisa bibliográfica baseia-se no levantamento e na análise de materiais já publicados, como livros, artigos científicos, dissertações, teses e periódicos especializados, que abordam temas relacionados à segurança hídrica, às mudanças climáticas e à gestão dos recursos hídricos. Já a pesquisa documental fundamenta-se na consulta a documentos oficiais e institucionais, como relatórios e planos de órgãos relevantes, entre eles o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA), o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entre outros. Essas fontes contribuem para a construção de uma análise crítica e fundamentada acerca da relação entre as mudanças climáticas e a segurança hídrica no contexto brasileiro e regional.

A estrutura metodológica do estudo está orientada pela aplicação do modelo FPEIR (Força Motriz – Pressão – Estado – Impacto – Resposta), que se apresenta como uma ferramenta analítica eficaz para compreender as interações entre fatores socioambientais e institucionais (Felinto, 2016; Braga *et al.*, 2019; Honorato, 2024). Esse modelo foi iniciado com o PER (Pressão–Estado–Resposta), difundido pela (OCDE, 1993), o qual introduziu uma lógica causal, na qual atividades humanas geram pressões sobre o meio ambiente, alterando seu estado, o que demanda respostas políticas e sociais. Em 1995, o PNUMA ampliou essa estrutura com a inclusão da dimensão

“Impacto”, dando origem ao modelo PEIR (Pressão–Estado–Impacto–Resposta), aprofundando a análise dos efeitos ambientais e sociais (Honorato, 2024).

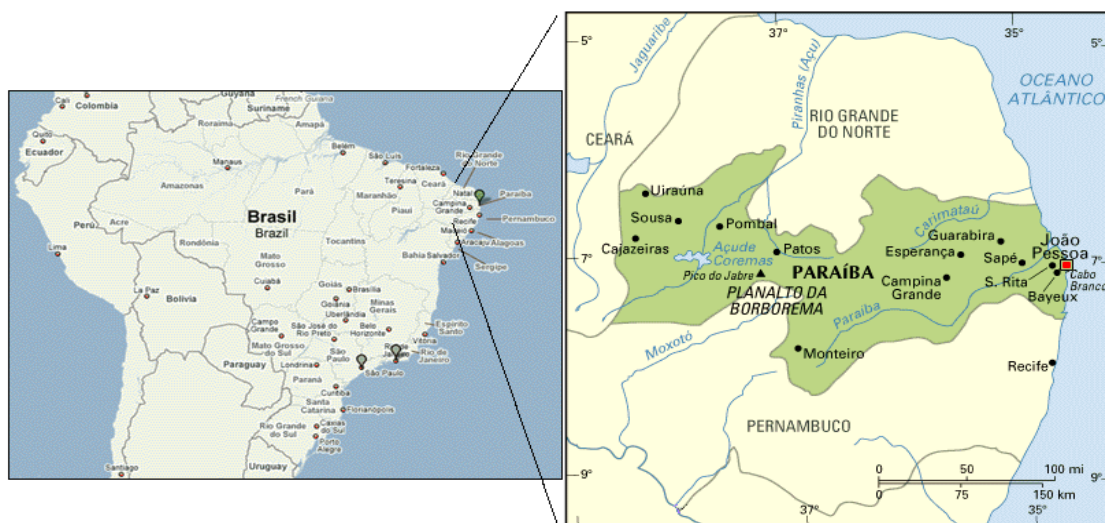
Por meio desse modelo, busca-se identificar as forças motrizes (fatores socioeconômicos e ambientais que impulsionam mudanças), as pressões resultantes das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos, o estado atual desses recursos, os impactos decorrentes da gestão e do uso da água, e as respostas adotadas pelo poder público e pela sociedade civil frente aos desafios hídricos.

Dessa forma, a metodologia proposta possibilita uma análise integrada e sistêmica das relações entre as mudanças climáticas e a segurança hídrica, permitindo compreender não apenas as causas e consequências dos problemas identificados, mas também avaliar a eficácia das políticas públicas e das estratégias de mitigação e adaptação existentes. Essa abordagem contribui para o fortalecimento da governança hídrica e para o desenvolvimento de ações sustentáveis, orientadas à promoção da resiliência climática e à preservação dos recursos hídricos em longo prazo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo FPEIR (Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas) constitui uma ferramenta analítica amplamente empregada na avaliação de sistemas ambientais e na formulação de políticas públicas sustentáveis. Fundamentado na abordagem sistêmica, o modelo possibilita compreender a interação entre as ações humanas e o meio ambiente por meio de uma cadeia causal, identificando os elementos que impulsionam mudanças (forças motrizes), os efeitos diretos dessas atividades (pressões), as condições ambientais resultantes (estado), suas consequências para os ecossistemas e para a sociedade (impactos) e as estratégias adotadas para mitigar ou adaptar-se a essas mudanças (respostas). Neste estudo, o modelo foi aplicado aos dados do município de João Pessoa-PB (Figura 1), com ênfase na análise da segurança hídrica.

Figura 1 - Localização da cidade de João Pessoa-PB

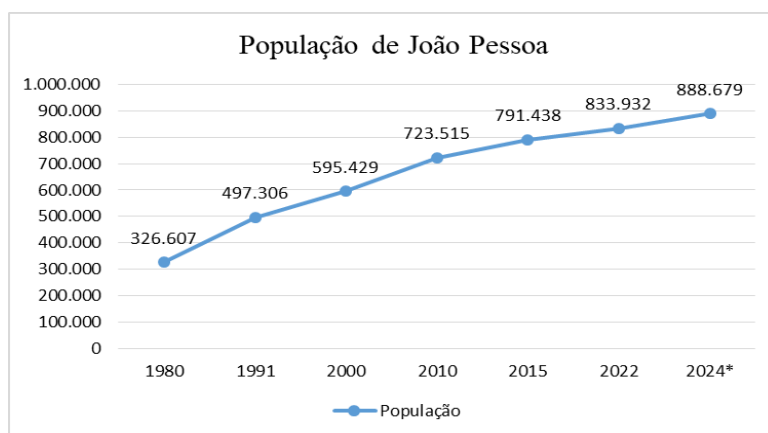


Fonte: UFPB, 2014.

A aplicação do FPEIR no contexto de João Pessoa revelou uma cadeia causal articulada, capaz de evidenciar os principais desafios relacionados à segurança hídrica no município. Os resultados apontam que forças socioeconômicas e ambientais exercem pressões significativas sobre o sistema hídrico, gerando um estado de vulnerabilidade que se manifesta em impactos concretos e que, por sua vez, requerem respostas institucionais estruturadas.

No que se refere às *forças motrizes*, três fatores principais foram identificados. O crescimento populacional apresentou-se como um determinante central o qual mostra a Figura 2, evidenciado pelo aumento da população de 326.607 habitantes em 1980 para uma estimativa de 888.679 em 2024, o que intensifica a demanda por água para consumo doméstico, higiene e outras necessidades cotidianas.

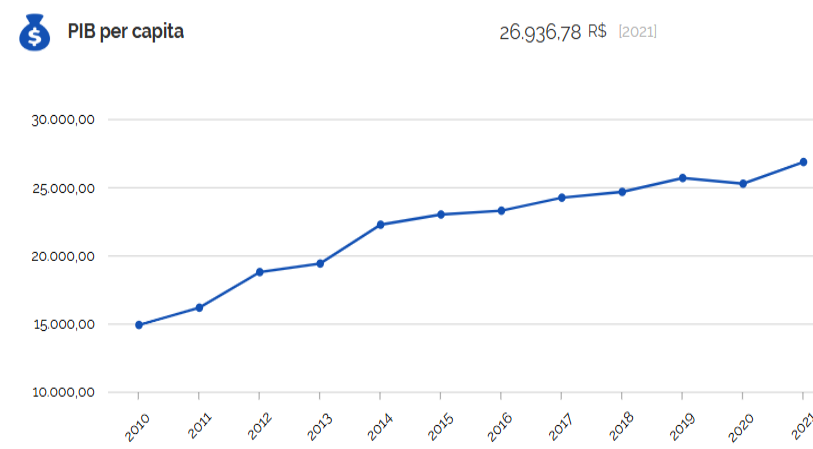
Figura 2 - Evolução da população de João Pessoa-PB



Fonte: IBGE, Censos Demográficos (1980; 1991; 2000; 2010; 2015; 2022; 2024* Estimativa).

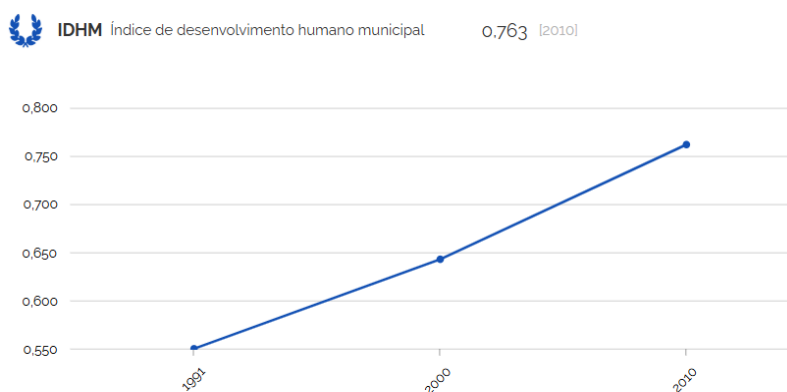
O desenvolvimento socioeconômico surge como uma segunda força motriz, refletida em um incremento de 79,58% no PIB per capita entre 2010 e 2021, atingindo R\$ 26.936,78 (Figura 3), aliado a um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) considerado alto 0,763, conforme a Figura 4 (IBGE, 2022).

Figura 3 - Evolução do PIB per capita de João Pessoa-PB



Fonte: IBGE. Censos Demográficos (2010 a 2021).

Figura 4 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de João Pessoa-PB



Fonte: Fonte: IBGE. Censos Demográficos (1991; 2000 e 2010).

Esse cenário indica uma melhoria na qualidade de vida da população, mas também um aumento no consumo de água em setores industriais, comerciais e de serviços. Por fim, as mudanças climáticas atuam como multiplicadores de risco, com projeções do Plano de Ação Climática municipal indicando elevação da temperatura média, alterações nos regimes pluviométricos e aumento do nível do mar, capazes de comprometer a regularidade e a qualidade do abastecimento hídrico, inclusive por meio da salinização de aquíferos costeiros (PAC, 2023).

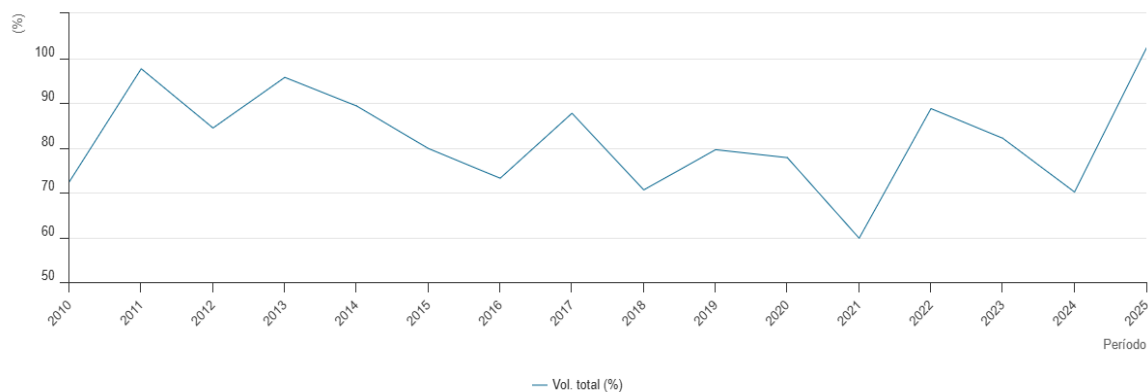
Essas forças motrizes se materializam em pressões diretas sobre os recursos hídricos. De acordo com dados da Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESAs) e da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), a elevada demanda hídrica, evidenciada pela outorga de captação de 2.450 litros por segundo do sistema Gramame-Mamanguape — que abastece não apenas João Pessoa, mas também municípios vizinhos do Litoral Sul, demonstra a intensa solicitação sobre o principal manancial.

Paralelamente, à medida que a população aumenta, ocorre também uma maior geração de esgoto doméstico, com isso observa-se um aumento crítico no lançamento de efluentes, com 12.238,61 mil m³ de esgoto despejados sem tratamento na natureza em 2022, revelando deficiências estruturais no saneamento básico que comprometem a qualidade da água (SNIS, 2022). A análise do uso e cobertura do solo em áreas urbanas é fundamental para compreender os processos de expansão urbana e degradação ambiental. Como destaca Rocha (2023), o uso e cobertura do solo refletem as interações entre os sistemas naturais e antrópicos, evidenciando os impactos da ação humana sobre o território ao longo do tempo. Com o crescimento populacional, intensifica-se a demanda por moradia, infraestrutura e serviços, o que consequentemente, impulsiona a expansão urbana e pode agravar os problemas ambientais associados à ocupação desordenada do solo.

Entretanto, a expansão urbana, que passou de 36,70% para 44,06% da cobertura do solo entre 2001 e 2018, reduziu a cobertura vegetal e impermeabilizou o solo, diminuindo a infiltração das águas pluviais, reduzindo a recarga dos aquíferos e intensificando o escoamento superficial, o que potencializa enchentes e reduz a disponibilidade hídrica subterrânea (Rocha, 2023).

O estado atual do sistema hídrico reflete essas pressões, apresentando sinais de vulnerabilidade. A disponibilidade de água é instável, uma vez que o reservatório Gramame-Mamanguape atingiu 58% de sua capacidade em 2021 (Figura 5), evidenciando a dependência de um regime de chuvas cada vez mais irregular e provável fragilidade do sistema frente a períodos de estiagem.

Figura 5 - Variação no volume de armazenamento do açude Gramame-Mamuaba



Fonte: AESA, 2025.

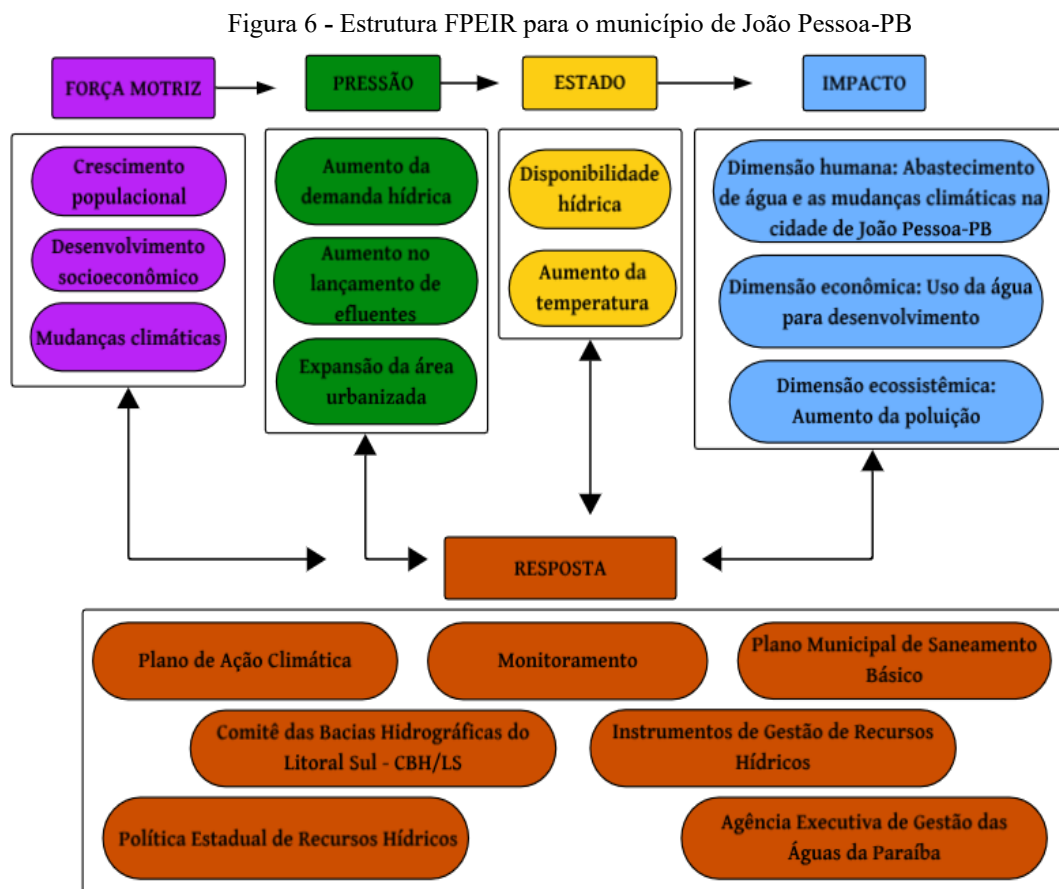
Simultaneamente, registra-se uma tendência de aquecimento no município, com a temperatura média anual aumentando de 29,5 °C em 1964 para 33 °C em 2024, intensificando a evaporação dos reservatórios e alterando o ciclo hidrológico local, o que potencializa eventos climáticos extremos (AESA, 2025; INMET, 2024).

Essas condições geram impactos em diferentes dimensões. Na dimensão humana, embora o acesso à água tratada seja universal, a eficiência do sistema é baixa, com perdas de 37,83% na distribuição, expondo a população a riscos de alagamentos, erosão costeira e ondas de calor, agravados pelas mudanças climáticas (SNIS, 2022). Na dimensão econômica, a água se mostra insumo estratégico, pois o crescimento do PIB industrial, variando entre R\$ 3,2 e R\$ 3,5 milhões, está diretamente relacionado à disponibilidade hídrica, tornando o abastecimento seguro essencial para o desenvolvimento (IBGE, 2022). Na dimensão ecossistêmica, está diretamente relacionada à capacidade dos mananciais de manter quantidade e qualidade de água suficientes para a conservação da biota aquática e dos serviços ecossistêmicos, bem como para a prevenção de riscos ambientais associados a eventos críticos, como o rompimento de barragens de rejeitos.

O lançamento de esgoto doméstico e industrial em corpos d'água é uma das principais causas da degradação ambiental urbana, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos e representando riscos à saúde pública (Machado; Silva, 2018). Essa realidade evidencia a deterioração dos ecossistemas aquáticos, como pode ser observado no caso do Rio Jaguaribe, que apresenta níveis críticos de oxigênio dissolvido (1,47 mg/L) e elevadas concentrações de coliformes fecais. Esses indicadores refletem o lançamento de esgoto *in natura*, resultando em significativa perda da qualidade ambiental e comprometendo a biodiversidade aquática (Cordeiro, 2014).

Diante desse cenário, as respostas institucionais demonstram a mobilização do poder público e da sociedade civil. Instrumentos como o Plano de Ação Climática (2023) e o Plano Municipal de Saneamento Básico orientam políticas de adaptação e mitigação, e universalização dos serviços. O monitoramento promovido pela AESA fornece suporte técnico-científico para diagnósticos e tomada de decisões mais robustas. Além disso, o marco regulatório estadual sobre saneamento e os mecanismos de governança, como a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Litoral Sul (CBH-LS), garantem uma gestão integrada e participativa, envolvendo poder público, usuários e sociedade civil na busca por soluções que promovam a segurança hídrica do município.

Na Figura 6 apresenta-se o modelo FPEIR (Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas) que analisa a segurança hídrica do município de João Pessoa no contexto das mudanças climáticas.



Fonte: Elaboração Própria, 2025.

A utilização do modelo FPEIR mostrou-se adequada para a análise integrada das interações entre fatores socioambientais, climáticos e de gestão hídrica em João Pessoa, permitindo identificar de forma estruturada as forças motrizes, as pressões sobre os recursos hídricos, o estado atual do sistema, os impactos gerados e as respostas institucionais adotadas, fornecendo subsídios relevantes para a formulação de políticas públicas e estratégias para segurança hídrica do município e a gestão sustentável da água.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf/view>. Acesso em: 19 Jul. 2025.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Impactos das Mudanças Climáticas nos Recursos Hídricos**. ANA, 2024b. Disponível em: <https://pnsh.ana.gov.br/pdf/ingles.pdf>. Acesso em: 10 Jun. 2025.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH)**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://pnsh.ana.gov.br/hom>. Acesso em: 10 Jun. 2025.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba. **Outorga de captação da CAGEPA no Açude Gramame**. João Pessoa: AESA, 2025. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/>. Acesso em: 19 Jul. 2025.

BRAGA, C. F.; BRAGA, A. C. F.; COSTA, M. L.; MOURA, A. L. **Abastecimento de Água da Cidade de Campina Grande-PB: Uma Análise Através da Metodologia Fpeir**. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima**. Diário Oficial da União, Brasília, 2009.

CORDEIRO, Tarcisio. **O que você precisa saber sobre a água de João Pessoa**. Marriett Albuquerque, João Pessoa-PB, 2014.

DIAS, E. M. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: Percepções sobre Riscos Climáticos e Capacidade Adaptativa na Região Semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.

FELINTO, C. **Aplicação do Sistema de Indicadores de Sustentabilidade Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (Fpeir) para a Gestão de Recursos Hídricos em João Pessoa-Pb**. Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, 2016.

HONORATO, P. A. R. **A contribuição do modelo FPEIR/TOPSIS no diagnóstico ambiental da segurança hídrica do médio curso do rio Paraopeba**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios: 2010-2021**. IBGE, 2022.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados climatológicos históricos**, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20 Jul. 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report**. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-4/>. Acesso em: 25 Abr. 2025.

MACHADO, A.; SILVA, C. **Impactos do lançamento de esgoto em corpos d'água urbanos**. Revista de Engenharia Ambiental, 2018.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico**. Revista Climanalise, 2020.

NUNES, T. F. **Procedimento Metodológico de Definição de Ações Prioritárias para Segurança Hídrica Local**. Universidade Federal da Bahia-UFBA, 2021.

OCDE - Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico. **OECD core set of indicators for environmental performance reviews**. A synthesis report by the Group on the State of the Environment. Environment monographs, 1983. Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico, Paris, 1993.

ONU - Organização das Nações Unidas. *Carta das Nações Unidas*. São Francisco, 1945. Disponível em: <https://www.un.org/pt/about-us/un-charter>. Acesso em: 1 nov. 2025.

PAC - Plano de Ação Climática de João Pessoa. **João Pessoa: PMJP**, 2023. Disponível em: https://jpsustentavel.joaopessoa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2023/10/SUMARIO_JOAO_PESSOAweb-1.pdf. Acesso em: 14 Jul. 2025.

RABELO, N. N. **Análise da segurança hídrica no Estado do Ceará: subsídios para o planejamento e gestão dos recursos hídricos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Área de Concentração em Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, 2022.

ROCHA, P. I. **Modelagem da expansão urbana futura como suporte ao planejamento e ao ordenamento territorial para a cidade João Pessoa - PB**. Universidade Federal da Paraíba, 2023.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do saneamento no Brasil**. Brasília, 2022.