

SEGURANÇA HÍDRICA NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: TECNOLOGIAS E ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Joel Fernandes Gurjão¹; Valéria Raquel Porto de Lima²; Iago José Ramos Borges³;

¹Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, joel.gurjao@aluno.uepb.edu.br

² Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, valeriaraquelportodelima@servidor.uepb.edu.br

³ Centro Universitário Facisa – UNIFACISA, iago.borges@maisunifacisa.com.br

1. Introdução

A segurança hídrica em regiões semiáridas representa um desafio global crescente, exacerbado pelos impactos das mudanças climáticas. O semiárido brasileiro, caracterizado por elevada variabilidade pluviométrica, altas taxas de evapotranspiração e secas recorrentes, enfrenta uma intensificação de sua vulnerabilidade hídrica, com projeções indicando aumento da aridez e riscos de desertificação. Essas condições climáticas adversas comprometem a disponibilidade de água doce de qualidade, afetando o abastecimento humano, a produção agrícola e o desenvolvimento socioeconômico de milhões de pessoas.

Diante deste cenário, a busca por soluções sustentáveis e adaptativas para garantir o acesso à água torna-se imperativa. A dessalinização de águas salobras e salinas, particularmente de fontes subterrâneas abundantes na região, emerge como uma alternativa tecnológica crucial. Contudo, a viabilidade econômica e ambiental da dessalinização, especialmente através da osmose reversa, depende significativamente do consumo energético do processo. A integração com fontes de energia renovável, notadamente a solar fotovoltaica – recurso abundante no semiárido – apresenta-se como uma solução promissora para conferir sustentabilidade a esses sistemas, reduzindo custos operacionais e a pegada de carbono.

Diversas iniciativas, implementadas por diferentes atores, buscam aplicar e disseminar a tecnologia de dessalinização no semiárido brasileiro. Programas federais, como o Programa Água Doce (PAD), projetos estaduais financiados por parcerias internacionais, como o Projeto Cooperar/PB Rural Sustentável na Paraíba (apoiado pelo Banco Mundial), e ações de organizações não governamentais (ONGs), como a Milagre Sertão, compõem um panorama complexo de intervenções. Cada iniciativa possui modelos de gestão, financiamento e abordagens tecnológicas próprias, refletindo a diversidade de estratégias para enfrentar a escassez hídrica.

Este artigo visa analisar criticamente os impactos das mudanças climáticas na segurança hídrica do semiárido brasileiro e avaliar as soluções de dessalinização acopladas à energia solar como estratégia de adaptação. Através de uma revisão da literatura, análise documental e estudo de caso ilustrativo baseado em dados de campo do município de Gurjão (PB), busca-se discutir a viabilidade técnica, econômica e socioambiental dessas tecnologias, considerando a pluralidade de iniciativas governamentais e não governamentais existentes. O estudo examina os desafios e oportunidades associados à implementação e sustentabilidade desses sistemas, contribuindo para o debate sobre políticas públicas e estratégias de convivência com o semiárido em um contexto de mudanças ambientais globais.

2. Metodologia

Este estudo emprega uma abordagem metodológica mista, combinando análise qualitativa aprofundada com elementos quantitativos derivados de dados secundários e informações de campo. O objetivo central é analisar os impactos das mudanças climáticas na segurança hídrica do semiárido brasileiro e avaliar criticamente as soluções de dessalinização, com ênfase na integração com energia solar, considerando diversas iniciativas governamentais e não governamentais.

A pesquisa fundamenta-se em:

- I. **Revisão Sistemática da Literatura:** Foi conduzida uma ampla revisão de literatura científica e técnica, abrangendo artigos de periódicos indexados, relatórios de organismos internacionais (IPCC, Banco Mundial), publicações de agências governamentais (ANA, MDR, governos estaduais), documentos de ONGs atuantes no semiárido e notícias de fontes especializadas. A busca focou nos impactos climáticos na hidrologia regional, vulnerabilidades socioambientais, tecnologias de dessalinização (osmose reversa), integração com

energia solar, e análise de diferentes programas e projetos de abastecimento hídrico (incluindo, mas não limitado ao Programa Água Doce, projetos estaduais, iniciativas do Banco Mundial e ações de ONGs).

II. Análise Documental: Foram analisados documentos oficiais de programas como o Programa Água Doce, projetos estaduais (como o Projeto Cooperar na Paraíba), acordos de empréstimo (ex: Banco Mundial), relatórios de ONGs e dados secundários sobre a implementação e resultados de sistemas de dessalinização.

I. Estudo de Caso e Análise de Campo: O município de Gurjão, Paraíba, foi utilizado como estudo de caso ilustrativo, aprofundado com informações do texto de apoio e análise de evidências visuais de documentação de infraestrutura de um sistema de dessalinização com painéis solares e reservatórios, enquanto a Imagem1.jpg detalha a parceria institucional (Governo da Paraíba, Banco Mundial via Acordo 8639-BR, Projeto Cooperar/PB Rural, Associação local - ACAPRIC) e o escopo (Comunidade Maria José, 150 famílias) de um projeto específico na região. Essas imagens fornecem um contexto visual e factual para a discussão dos resultados.

II. Plano Amostral (Referencial Teórico): Para a seleção de comunidades ou análise de dados populacionais em estudos de campo relacionados a projetos de dessalinização no semiárido, como os mencionados em Gurjão, a metodologia de amostragem por conglomerados ponderados, conforme descrita por Kish (1965), é uma abordagem metodológica robusta e frequentemente recomendada. Este método é particularmente adequado para populações geograficamente dispersas e heterogêneas, como as comunidades rurais do semiárido. A amostragem por conglomerados envolve a seleção de grupos (conglomerados, ex: comunidades) e, em seguida, a amostragem de unidades dentro desses grupos. A ponderação é utilizada para ajustar as probabilidades desiguais de seleção, garantindo que a amostra seja representativa da população-alvo em termos de características relevantes (Kish, L. *Survey Sampling*. John Wiley & Sons, 1965). Embora este artigo se baseie principalmente em dados secundários e análise documental/visual, a referência a Kish (1965) estabelece um quadro metodológico rigoroso para futuras pesquisas de campo ou para a interpretação de dados coletados sob tal desenho amostral.

A análise dos dados coletados envolveu a triangulação de informações de diferentes fontes (literatura, documentos, dados secundários, imagens) para validar os achados e construir uma compreensão abrangente do fenômeno. Foi realizada uma análise

crítica da eficácia, sustentabilidade, desafios e oportunidades das diferentes iniciativas de dessalinização solar no contexto das mudanças climáticas e da segurança hídrica no semiárido brasileiro. A discussão busca equilibrar as perspectivas sobre as diversas iniciativas, evitando foco exclusivo em um único programa e incorporando as especificidades locais observadas no estudo de caso.

3. Resultados e Discussão

3.1. Panorama das Iniciativas de Dessalinização no Semiárido Brasileiro

A análise das estratégias de enfrentamento à escassez hídrica no semiárido brasileiro, intensificada pelas mudanças climáticas, revela um mosaico de iniciativas que buscam garantir o acesso à água potável através da dessalinização. Embora o Programa Água Doce (PAD), coordenado pelo Governo Federal, tenha sido uma política pública de destaque, com implementação reportada de mais de 1.000 sistemas até 2024/2025 (MIDR, 2024; SRH/CE, s.d.), é crucial reconhecer a contribuição de outros atores e modelos de intervenção.

Iniciativas estaduais, frequentemente em parceria com organismos internacionais como o Banco Mundial, desempenham um papel significativo. O Projeto Cooperar / PB Rural Sustentável, do Governo da Paraíba, é um exemplo emblemático. Com atuação em 222 municípios, este projeto integra o acesso à água, incluindo dessalinização, com ações de redução da vulnerabilidade agroclimática e acesso a mercados, financiado por empréstimo do Banco Mundial e contrapartidas estaduais/comunitárias (Governo da Paraíba, s.d.). A Figura 1 ilustra um sistema implementado sob esta parceria no município de Gurjão.

Figura 1: Placa informativa da obra de construção de dessalinizador na Comunidade Maria José, Gurjão-PB



Fonte: acervo próprio (2025).

Paralelamente, organizações não governamentais (ONGs) também são protagonistas na implementação de soluções hídricas. A ONG Milagre Sertão, por exemplo, atua há uma década no semiárido paraibano, evoluindo de ações assistenciais para projetos estruturantes que incluem a instalação de poços, cisternas e dessalinizadores solares (como na comunidade Xique-Xique, Monteiro-PB), além de capacitação e fomento ao comércio solidário (Impacta Nordeste, 2023). Outras redes, como a Articulação Semiárido Brasileiro (ASA Brasil), embora mais focadas em tecnologias sociais como cisternas, também contribuem para o debate e a implementação de soluções de convivência com o semiárido (ASA Brasil, 2014; ISPN, s.d.). A Fundación Avina, em parceria com a Ambev no projeto AMA, também atua no acesso à água na região (Water Action Hub, s.d.).

3.2. Dessalinização Solar: Tecnologia e Sustentabilidade

A integração da energia solar fotovoltaica aos sistemas de dessalinização por osmose reversa representa um avanço crucial para a sustentabilidade dessas intervenções. Conforme observado na Figura 2, que retrata um sistema de dessalinização em área rural, a presença de painéis solares é um elemento chave para viabilizar a operação em locais remotos e reduzir os custos energéticos, um dos principais desafios da dessalinização convencional.

Figura 2: Sistema de dessalinização alimentado por energia solar em área rural do semiárido



Fonte: acervo próprio (2025).

A adoção da energia solar, como implementada no projeto de Gurjão financiado pelo Acordo de Empréstimo 8639-BR (Governo da Paraíba & Banco Mundial, ver Figura 1 e texto de apoio), alinha a necessidade de abastecimento hídrico com as metas de mitigação das mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável. Esta abordagem reduz a dependência de combustíveis fósseis e os custos operacionais, tornando a solução mais resiliente e acessível a longo prazo para as comunidades beneficiadas.

3.3. Estudo de Caso: Gurjão (PB) e a Importância das Parcerias

O município de Gurjão, na Paraíba, oferece um exemplo concreto da implementação e dos resultados de sistemas de dessalinização. Dados da Secretaria de Desenvolvimento Rural de Gurjão (SDRG), citados no texto de apoio, indicam que sistemas implantados em 2017 (Riacho dos Reis) e 2018 (Riacho Salgado), possivelmente vinculados a fases anteriores do PAD ou outras iniciativas, beneficiaram cerca de 80 famílias (280 pessoas) com sistemas de gestão compartilhada.

Mais recentemente, a implantação de um sistema na Comunidade Maria José (Figuras 1 e 2) ilustra a evolução para modelos que integram energia solar e parcerias multi-institucionais. Financiado pelo acordo entre o Governo da Paraíba e o Banco Mundial, executado pelo Projeto Cooperar/PB Rural Sustentável e com envolvimento da associação comunitária local (ACAPRIC), este projeto específico visa beneficiar 150 famílias, com um investimento superior a R\$ 270 mil. A participação da comunidade, através de associações como a ACAPRIC, é fundamental para a apropriação, gestão e manutenção dos sistemas, garantindo sua funcionalidade e sustentabilidade a longo prazo,

um princípio alinhado à gestão colaborativa defendida por programas como o PAD e essencial para o conceito de “zonas rurais inteligentes” mencionado no texto de apoio.

3.4. Discussão: Desafios e Oportunidades

A diversidade de atores e modelos de financiamento (federal, estadual, internacional, ONGs, privado) na área de dessalinização no semiárido é tanto uma força quanto um desafio. A força reside na capacidade de mobilizar diferentes recursos e expertises para atender a uma demanda vasta e dispersa. O desafio reside na necessidade de coordenação, padronização técnica mínima, garantia de qualidade da água, gestão sustentável do concentrado salino e, principalmente, na sustentabilidade da operação e manutenção a longo prazo.

A integração com energia solar é uma oportunidade clara para aumentar a sustentabilidade econômica e ambiental. No entanto, requer investimento inicial maior e capacidade técnica local para manutenção dos sistemas fotovoltaicos. A gestão compartilhada e o envolvimento comunitário, como visto em Gurjão e promovido por diversas iniciativas, são cruciais, mas exigem capacitação contínua e estruturas de apoio.

A eficácia dessas soluções como medida de adaptação às mudanças climáticas é inegável, pois aumentam a resiliência das comunidades à variabilidade e escassez hídrica. Contudo, a dessalinização deve ser vista como parte de um conjunto mais amplo de estratégias de gestão de recursos hídricos e convivência com o semiárido, incluindo a gestão da demanda, o reúso de água, a conservação de ecossistemas e o fortalecimento de práticas agrícolas adaptadas.

A análise equilibrada das diferentes iniciativas, reconhecendo os méritos e desafios de cada uma, é fundamental para o aprimoramento das políticas públicas e das ações da sociedade civil, visando garantir a segurança hídrica de forma justa e sustentável para as populações do semiárido brasileiro frente a um cenário climático cada vez mais desafiador.

5. Referências Bibliográficas

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2023). *Mudanças climáticas e recursos hídricos*. Recuperado de <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/mudancas-climaticas-recursos-hidricos>



- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). (s.d.). *Programa Água Doce*. (Nota: Referência genérica sobre dessalinização na PB, verificar link original ou substituir por fonte mais específica se necessário).
- Antigo Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2017, 20 de outubro). *Programa Água Doce é referência mundial*. Recuperado de <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/14405-noticia-acom-2017-10-2630.html> (Nota: Usar com cautela, foca no PAD).
- Articulação Semiárido Brasileiro (ASA Brasil). (2014, 25 de junho). *Instituições recebem certificado da ONU por combate à desertificação*. Recuperado de <https://asabrasil.org.br/2014/06/25/instituies-recebem-certificado-da-onu-por-combate-desertificao/>
- Banco Mundial. (2024, 7 de maio). *Procurement Details - OP00288283*. Recuperado de <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/procurement-detail/OP00288283> (Exemplo de licitação para dessalinizadores fotovoltaicos no âmbito do Projeto Cooperar/PB Rural Sustentável).
- Governo da Paraíba. Projeto Cooperar. (s.d.). *Paraíba Rural Sustentável*. Recuperado de <https://cooperar.pb.gov.br/pb-rural-sustentavel>
- Iberdrola. (s.d.). *O que é segurança hídrica e como as mudanças climáticas a colocam em risco*. Recuperado de <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/seguranca-hidrica>
- Impacta Nordeste. (2023, 25 de abril). *ONG Milagre Sertão promove ações de convivência com a seca no semiárido paraibano*. Recuperado de <https://impactanordeste.com.br/ong-milagre-sertao-promove-aco-es-de-convivencia-com-a-seca-no-semiarido-paraibano/>
- Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). (s.d.). *Convivência com o Semiárido*. Recuperado de <https://ispn.org.br/biomas/caatinga/convivencia-com-o-semiarido/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Kish, L. (1965). *Survey Sampling*. John Wiley & Sons.
- Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR). (2023). *Programa Água Doce*. Recuperado de <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/programa-agua-doce-1> (Acesso em Maio de 2025).



- Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR). (2024, 12 de dezembro). *MIDR implementou 1.068 sistemas de dessalinização em 298 municípios do semiárido brasileiro em 20 anos*. Recuperado de <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/midr-implementou-1-068-sistemas-de-dessalinizacao-em-298-municipios-do-semiarido-brasileiro-em-2024> (Nota: Atualiza dados do PAD).
- Redimax. (2025, 18 de fevereiro). *A Energia Solar para Dessalinização de Água*. Recuperado de <https://redimax.com.br/a-energia-solar-para-dessalinizacao-de-agua/>
- Saneamento Ambiental. (2024, 19 de fevereiro). *Mudanças climáticas e segurança hídrica*. Recuperado de <https://www.saneamentoambiental.com.br/noticias/mudancas-climaticas-e-seguranca-hidrica>
- Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (SRH/CE). (s.d.). *Programa Água Doce - PAD*. Recuperado de <https://www.srh.ce.gov.br/programa-agua-doce-pad/> (Exemplo de implementação estadual do PAD).
- Silva, J. I. A. O., Sousa, M. B. B., & Farias, T. (2023, 9 de maio). Opinião: Mudanças climáticas e segurança hídrica no Nordeste. *Consultor Jurídico (ConJur)*. Recuperado de <https://www.conjur.com.br/2023-mai-09/opiniao-mudancas-climaticas-seguranca-hidrica-nordeste/>
- UN-Water. (2013). *Water Security & the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief*. Recuperado de <https://www.unwater.org/publications/water-security-global-water-agenda>
- Water Action Hub. (s.d.). *Acesso a Água no Semiárido Brasileiro*. Recuperado de <https://wateractionhub.org/projects/1806/d/aceso-a-agua-no-semiarido-brasileiro/> (Menciona parceria Fundación Avina e Ambev no projeto AMA).