



CTENF 2024
1º CONGRESSO DE
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA
DO NORTE-FLUMINENSE

1º Congresso de Transição Energética do Norte-Fluminense

Site: <https://eventos.congresse.me/ctenf/edicoes/CTENF>

O BINÔMIO ÁGUA E ENERGIA: PROPOSIÇÃO DE PLATAFORMA PARA ENSAIOS DE ALTERNATIVAS HÍDRICAS E ENERGÉTICAS

1º Congresso de Transição Energética do Norte Fluminense, 1ª edição, de 11/11/2024 a 12/11/2024
ISBN dos Anais: 978-65-5465-131-8

BICOCK; João Vytor Martins¹, FERREIRA; Rafael Malheiro da Silva do Amaral²

RESUMO

TÍTULO

ALTERNATIVAS INTEGRADAS DO BINÔMIO ÁGUA-ENERGIA: CRIAÇÃO DE AMBIENTE EXPERIMENTAL DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO AUTOMATIZADO

PALAVRAS-CHAVE

Binômio água-energia; Energia Renovável; Gestão Integrada de Recursos; Sustentabilidade; Sustentabilidade Hídrica

RESUMO

O trabalho aborda a interdependência entre água e energia, destacando a necessidade de uma gestão integrada desses recursos para promover a sustentabilidade. A crescente demanda por água e energia devido ao aumento populacional e ao desenvolvimento econômico tem gerado disfunções ambientais. O conceito de nexus água-energia-alimento (WEF) é apresentado como uma solução para integrar fisicamente, socialmente e politicamente esses setores, promovendo a segurança e a disponibilidade dos recursos. Este trabalho também discute os recentes episódios de crise hídrica brasileira, ressaltando a importância do planejamento integrado e da articulação institucional. A metodologia proposta envolve a colaboração entre instituições de ensino e o setor privado para desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis. Um exemplo prático é a plataforma experimental no campus da UFRJ em Macaé, no Laboratório Experimental de Tecnologias Ecológicas (LETE), que testa arranjos de bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica. A pesquisa destaca a importância de tecnologias de reuso e eficiência energética, além de políticas integradas de gestão de recursos hídricos. A implementação dessas soluções visa mitigar os impactos ambientais e garantir a segurança hídrica e energética para a população e o meio ambiente.

INTRODUÇÃO

¹ UENF, jvmbicock@gmail.com

² UFRJ, rafael.malheiro@gmail.com

A expansão dos centros urbanos e industriais tem levado a um consumo cada vez maior de água e energia. O binômio água-energia enfoca a interdependência entre os dois recursos, uma vez que os processos de captação, tratamento e transporte da água são energo-intensivos, assim como, diferentes métodos de geração de energia utilizam grandes quantidades de água.

A crescente demanda por recursos naturais devido ao aumento populacional e ao desenvolvimento econômico tem gerado disfunções nas dinâmicas ambientais urbanas. Estima-se que até 2050, 70% da população mundial viverá em áreas urbanas, aumentando significativamente as demandas por água, energia e alimentos (DIAS; LAZARO; BARROS, 2023¹).

Adicionando a questão dos alimentos, surge então o *nexus* WEF (sigla em inglês, *Water, Energy and Food*), que é um sistema que reconhece as interações entre água, energia e alimentos, focando em sinergias para o uso eficiente desses recursos. A abordagem do *nexus* água-energia-alimento surge como uma solução para entender e integrar fisicamente, socialmente e politicamente esses setores, promovendo a segurança e a disponibilidade dos recursos. A gestão integrada dos subsistemas de alimentos, energia e água é essencial para reduzir efeitos colaterais e aumentar a colaboração. O engajamento de *stakeholders* é fundamental para alcançar os objetivos do *nexus* e promover o desenvolvimento sustentável. Os principais desafios para a implementação do *nexus* WEF incluem a falta de políticas integradas, incerteza de dados, e ausência de padrões e leis eficientes. (DIAS; LAZARO; BARROS, 2023¹; FLAMMINI *et al*, 2014²; HERRERA-FRANCO *et al*, 2024³).

O desenvolvimento populacional, industrial e econômico tem levado ao esgotamento dos recursos naturais e à poluição ambiental. A energia, sendo a força motriz do desenvolvimento econômico e social, é também a principal causa das mudanças climáticas devido ao uso excessivo de combustíveis fósseis (HERRERA-FRANCO *et al*, 2024³). As emissões líquidas de GEE aumentaram desde 2010 em todos os principais setores. Em 2019, aproximadamente 34% (20 Gt CO₂e) das emissões globais líquidas de GEE foram provenientes do setor energético (IPCC, 2023⁴).

É essencial adotar uma abordagem holística na gestão dos recursos hídricos, energéticos e alimentares para garantir a sustentabilidade e a segurança desses recursos no futuro. A integração de ações setoriais e a promoção de práticas sustentáveis são fundamentais para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo aumento da demanda (DIAS; LAZARO; BARROS, 2023¹).

Entre 2013 e 2015, a região sudeste do Brasil experimentou uma das secas mais severas já registradas, resultando em uma crise hídrica significativa. A crise resultou em impactos econômicos e sociais significativos, incluindo a implementação de medidas de racionamento e aumento das tarifas de água e energia. A crise entre 2013 e 2015 também destacou a importância de um planejamento integrado e da articulação institucional entre os diversos atores responsáveis pela gestão dos recursos hídricos (ZUFFO *et al*, 2023⁵).

No inciso III, Artigo 1º da Lei Federal 9.433, datada de 8 de Janeiro de 1997, o uso prioritário da água é indicado: "(...) III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; (...)".

Um análise do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), unidade de pesquisa vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), indica que 2024 já registra a seca de maior extensão e intensidade no Brasil dos últimos 70 anos. Somadas, as áreas com alguma condição de seca atingem cerca de 5 milhões de km², o que equivale a cerca de 58% de todo o território nacional (Site do Governo Federal do Brasil, 2024⁷).

A seca extrema, combinada com a redução das chuvas e o fenômeno *El Niño*, resultou em um aumento significativo dos incêndios florestais, especialmente no Pantanal, onde a área queimada no primeiro semestre aumentou 529% em relação à média dos anos anteriores (CEMADEN⁸; MAPBIOMAS, 2024⁹).

A seca é uma tipologia de desastre monitorada pelo CEMADEN. No Brasil, provoca impactos econômicos significativos. Em 2023, cerca de 30% dos municípios brasileiros apresentaram, ao menos, um mês em condição de seca severa, extrema ou excepcional. Os 1.677 municípios abrangeram mais de 4 milhões de km² de área territorial e uma população estimada em mais de 42 milhões de habitantes (Site do Governo Federal do Brasil, 2024⁷).

A gestão integrada de recursos hídricos (IWRM, sigla em inglês, *Integrated Water Resources Management*) é considerada uma abordagem adequada para lidar com problemas hídricos, incluindo crises de abastecimento de água urbana. A IWRM requer a cooperação de especialistas e tomadores de decisão de diferentes áreas, além da participação de atores relevantes, como a população, agências reguladoras, administração local e instituições de desenvolvimento (DA SILVA; DE SOUZA, 2023¹⁰).

Considerando o aspecto da redução do consumo de água no Brasil, há de se destacar o uso agropecuário que é o setor maior consumidor dos recursos hídricos, sendo que novas tecnologias podem ser agregadas à agricultura para que possa produzir mais com maior economia (conservação) dos recursos hídricos. Podem ser destacadas, por exemplo, técnicas de irrigação associadas a tecnologias de precisão, sistemas IOT, sensores embarcados em drones, etc. Adicionalmente, a utilização de fontes de energia renováveis também devem ser agregadas.

Dentro do contexto da energia, além da geração hidrelétrica, que utiliza o recurso água para impulsionar suas turbinas, caracterizando-se como um uso não-consuntivo (Figura 1), a geração termelétrica utiliza-se da água para os processos, notadamente na refrigeração. Entretanto, frente ao cenário de possível escassez do recurso, já está sendo considerada, por exemplo, a tecnologia de refrigeração a ar. Outra alternativa

¹ UENF, jvmbicock@gmail.com

² UFRJ, rafael.malheiro@gmail.com

discutida para termelétricas litorâneas é a utilização da água do mar, com ou sem dessalinização, a depender dos custos de instalação e de energia.

O objetivo geral deste trabalho é utilizar a plataforma experimental para ensaios de alternativas hídricas e energéticas (binômio água-energia), visando integrar esforços de pesquisa e colaboração entre instituições de ensino e o setor privado. O trabalho busca desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis que promovam a gestão eficiente e integrada dos recursos hídricos e energéticos, contribuindo para a segurança e sustentabilidade desses recursos essenciais.



Figura 1 – Tipos de uso da água.

Fonte: CBH Macaé Ostras (2024)¹¹ *apud* Consórcio RHA-AlphaP

MÉTODOS

A metodologia proposta visa integrar esforços de pesquisa, colaboração entre instituições de ensino e o engajamento do setor privado para enfrentar os desafios interconectados de água, energia e alimentos. Através de uma abordagem sistemática e colaborativa, é possível desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis que beneficiem a sociedade como um todo.

A primeira abordagem é a identificação e mapeamento dos principais desafios relacionados à água e energia, especialmente na região de Macaé e no estado do Rio de Janeiro, nos diferentes setores econômicos, visando desenvolver soluções integradas e sustentáveis.

A segunda abordagem, considerando o contexto das instituições de ensino, abrange a pesquisa na interseção do clima, água e energia já está sendo conduzida em parceria entre a UENF (Universidade Estadual do Norte Fluminense) e a UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) nos seus respectivos campi em Macaé/RJ, envolvendo um Programa de Mestrado Profissional e projetos de pesquisa e extensão.

¹ UENF, jvmbicock@gmail.com
² UFRJ, rafael.malheiro@gmail.com

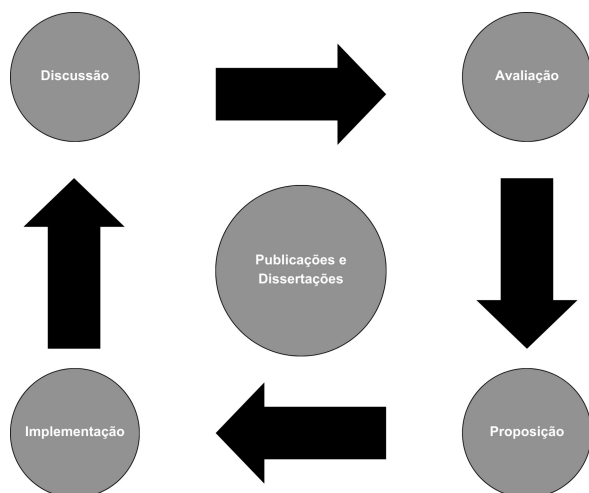


Figura 2. Fluxo entre Discussão, Avaliação, Proposição e Implementação de Soluções Integradas e Sustentáveis a partir de Publicações e Dissertações a partir do Programa de Mestrado Profissional.

Adicionalmente, a terceira abordagem contempla uma plataforma para ensaios de alternativas hídras e energéticas que está em desenvolvimento no Laboratório Experimental de Tecnologias Ecológicas (LETE) localizado no campus da UFRJ Macaé. Os objetivos da plataforma são oferecer um ambiente de testes experimentais para arranjos de equipamentos relacionados à produção e conservação de água e a utilização de fontes de energia renovável.

O experimento que está atualmente sendo testado é a investigação de arranjos mais eficientes para o bombeamento de água a partir de energia solar fotovoltaica. A performance e a melhor configuração dos sistemas de bombeamento solar serão avaliadas. Os parâmetros de interesse dessa pesquisa incluem o número de painéis fotovoltaicos e a acumulação em baterias para atendimento à demanda, as formas de conexão da bomba através do acoplamento direto, acionamento por *driver* e por controlador de carga e bateria e, também, a operação em corrente contínua e alternada do sistema.

Esses sistemas inteligentes de bombeamento solar poderão ser utilizados em processos industriais, na prospecção de água subterrânea, na irrigação agrícola, ou ainda, em drenagem de águas pluviais. Para tanto um sistema de automação associado a condições ambientais também está sendo instalado, baseado no *setpoint* de uma estação meteorológica, transmissão dos dados, processamento em aplicativo para gerenciamento hídrico. Daí em diante, um dispositivo automático envia informações para acionamento do sistema de bombeamento, considerando as respostas do gerenciamento hídrico.

Em todo o caso, o aspecto mais importante da plataforma experimental é o domínio da arquitetura da automação proposta desde a escolha do *setpoint*, passando pelo desenvolvimento sob medida da automação na plataforma, que poderá ser adaptado no futuro a outras aplicações como, por exemplo, a diferentes condições operacionais de processos industriais.

A implementação na plataforma dessas alternativas hídras e energéticas contribui para a busca por sustentabilidade preconizada pelos setores de ESG das empresas e organizações públicas e privadas.

Através da realização de reuniões e workshops com representantes dessas organizações, o objetivo é estabelecer parcerias para viabilizar a continuidade dos testes na plataforma e a aderência aos desafios enfrentados em suas rotinas. Diferentes incentivos para o fomento e a implementação de soluções sustentáveis podem ser utilizados no contexto das práticas propostas.

¹ UENF, jvmbicock@gmail.com
² UFRJ, rafael.malheiro@gmail.com

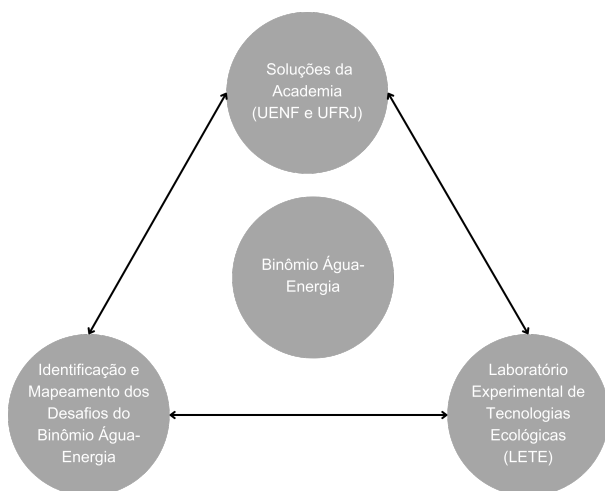


Figura 3. Metodologia contemplando as três abordagens propostas dentro do contexto Binômio Água-Energia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a primeira abordagem da metodologia para este trabalho, utilizando como uma das bases o Plano de Trabalho Consolidado do CBH Macaé Ostras para Revisão e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (PRH-MACAÉ/OSTRAS), pode-se mencionar que o uso da água por termelétricas é um aspecto importante na análise regional (Região Hidrográfica VIII), especialmente considerando o crescimento significativo desse setor na região.

Macaé, conhecida como a "Capital da Energia", abriga atualmente duas usinas termelétricas em operação e uma em fase de pré-operação, com planos para a construção de mais 12 usinas. Essas instalações utilizam grandes volumes de água principalmente para o resfriamento dos sistemas e a condensação do vapor gerado durante a produção de eletricidade. A água, retirada de fontes naturais como rios e lagos, é essencial para manter a eficiência e a segurança das operações termelétricas. No entanto, o uso intensivo de água por essas usinas pode impactar significativamente a disponibilidade hídrica na região, exigindo uma gestão bem integrada e estruturada para evitar conflitos com outros usos, como o abastecimento humano e a agricultura.

A análise regional destaca a importância de políticas integradas de gestão de recursos hídricos que considerem as necessidades de todos os setores, promovendo o uso sustentável da água. A implementação de tecnologias de reuso e a melhoria da eficiência dos sistemas de resfriamento nas termelétricas são estratégias que podem ajudar a mitigar os impactos negativos e garantir a segurança hídrica para a população e o meio ambiente.

Dentro do contexto das instituições de ensino, há uma pesquisa em desenvolvimento, através da elaboração de uma dissertação, produzida pelos autores do presente trabalho, no Programa de Mestrado Profissional em Clima e Energia pela UENF em parceria com a UFRJ.

Na etapa de Revisão Bibliográfica da Dissertação, além dos dados citados sobre o Plano dos Recursos Hídricos do CBH Macaé Ostras, diferentes casos e experiências obtidas em países que enfrentam desafios na utilização de água e geração de energia, como Espanha, EUA e Austrália estão sendo estudados.

No caso da Espanha, pode ser citada a cooperação das Universidades de Almería, Barcelona e Granada, que visa desenvolver discussões a respeito da governança e regulação dos setores de água e energia e de sua respectiva interação.

Na Espanha, bem como em outros lugares do mundo, a produção e distribuição de água, um recurso tão escasso, exige um grande consumo de energia. Este recurso enfrenta uma crise prolongada e está em um processo de transformação radical rumo à descarbonização e à eficiência energética. Os recursos hídricos e suas infraestruturas também podem contribuir para a geração de energia por meio de várias estratégias que fazem parte da transição energética. Exemplos consideráveis incluem miniusinas, a integração de águas continentais e marítimas, a geração de energia fotovoltaica e eólica.

Para o contexto dos EUA, pode ser citada a grande preocupação com as termelétricas, em que se discute que o aumento da demanda por eletricidade não implica necessariamente um aumento na necessidade de água. Isso ocorre porque a construção de novas usinas com tecnologias renováveis ou usinas termelétricas que utilizam água do oceano, resfriamento em circuito fechado ou outras tecnologias, o que pode reduzir significativamente a utilização de água por MWh gerado.

¹ UENF, jvmbicock@gmail.com
² UFRJ, rafael.malheiro@gmail.com

Isto acontece na maioria dos países industrializados, em que há uma tendência gradual de projetar usinas em circuito fechado (ou sistemas híbridos que combinam resfriamento com água e resfriamento a seco, uma tecnologia cara e especializada onde o ar é usado para resfriar a água do processo). Isso resultou em uma ausência de aumentos globais claros na utilização de água para resfriamento, ocasionando uma representativa menor quantidade de água utilizada por KWh de energia gerada.

Em relação ao caso da Austrália, um exemplo que pode ser mencionado é a utilização de plantas de dessalinização na região da *Western Australia*, cuja capital é a cidade de Perth, que possui um clima seco. Uma dessas plantas fica na cidade de Kwinana, que fica na região metropolitana de Perth, com capacidade de produção de 130 ML/dia. Sua produção começou em 2006, com um custo de construção aproximado de 350 milhões de dólares. A planta necessita de cerca de 26 MW de energia para funcionar e consome aproximadamente 185 GWh de energia por ano, sendo abastecida por uma fazenda de energia eólica (KNIGHTS; MACGILL; PASSEY, 2007¹⁰).

Ainda no que diz respeito à Dissertação de Mestrado, simulações e modelos computacionais deverão ser utilizados na análise detalhada de cenários complexos, ajudando a prever o comportamento dos sistemas de água e energia sob diferentes condições ambientais e de demanda. Por exemplo, modelos hidrológicos podem simular o impacto das mudanças climáticas na disponibilidade de água, enquanto modelos energéticos podem otimizar a produção e distribuição de energia, considerando a variabilidade dos recursos hídricos. Assim, essas ferramentas são essenciais para o planejamento sustentável, permitindo a tomada de decisões informadas que equilibram a oferta e a demanda de água e energia, minimizando impactos ambientais, possibilitando a segurança hídrica e energética.

Na parte prática, a plataforma de ensaios é atualmente composta pelo sistema solar fotovoltaico, sistema de bombeamento hidráulico, driver de acionamento, dois controladores de carga, duas baterias, inversor de frequência, regulador de tensão e dois componentes para acionamento automático. Adicionalmente, uma estação meteorológica é utilizada como setpoint transmitindo informações coletadas instantaneamente via internet para o aplicativo de gerenciamento hídrico. O aplicativo, especialmente desenvolvido para esta finalidade, processa os dados ambientais recebidos e quantifica a demanda hídrica. Este resultado orienta o acionamento manual e/ou automático do sistema de bombeamento fotovoltaico.

O sistema fotovoltaico é composto por quatro painéis, sendo duas unidades de 60 células policristalinas, potência nominal de 280W e tensão máxima de 31,94V, e as outras duas de 36 células monocristalinas, potência nominal de 155W e tensão máxima de 20,64V. O sistema de bombeamento hidráulico é redundante e conta com cinco modelos de bombas hidráulicas explorando o acoplamento direto com a fonte de energia solar intermitente, o acionamento via driver e a utilização de controlador de carga e baterias para regularização da alimentação de energia. Adicionalmente, serão testados modelos que utilizam corrente alternada, através do intermédio de um inversor de frequência, assim como, modelos com tensão de trabalho de 12V e 24V.

De acordo com as informações processadas no software de gerenciamento hídrico, será avaliada a necessidade de armazenamento em baterias, partindo da acumulação em duas baterias em série de 30Ah cada até bancos de baterias maiores capazes de armazenar a energia produzida de até três dias consecutivos.

Nos testes iniciais de campo, o bombeamento solar fotovoltaico está associado à irrigação hipotética de um cultivo através da técnica de gotejamento, chamado de conceito Irrigasol. Portanto, o processo selecionado no aplicativo de gerenciamento hídrico é capaz de estimar a necessidade hídrica para o metabolismo da planta cultivada considerando os dados meteorológicos adquiridos. Outras aplicações de processos serão implementadas no aplicativo de gerenciamento hídrico, como o bombeamento de águas subterrâneas e enchimento de reservatórios.

A performance de dois dispositivos automáticos para efetuar a irrigação no volume e tempo recomendados será verificada. O primeiro dispositivo é um relé temporizador programável que pode ser configurado para iterar o mesmo volume de água bombeada dentro de uma estratégia pré-definida. O segundo dispositivo é uma chave elétrica inteligente responsável pelo acionamento da bomba, podendo ser comandada por aplicativo mobile ou assistente virtual inteligente.

O bombeamento de precisão utilizando o sistema inteligente baseado no setpoint, aplicativo de gerenciamento e atuadores automáticos garantem maior redução do consumo de água e, conseqüentemente, de energia, com benefícios econômicos e ambientais.

O sistema fotovoltaico será instrumentado a partir dos parâmetros elétricos adquiridos, como potência, tensão e corrente de trabalho. O sistema hidráulico será monitorado a partir da potência consumida na bomba em termos de pressão e vazão obtidos. É esperado obter as curvas de funcionamento real dos painéis fotovoltaicos, o gerenciamento da energia gerada para acionamento das bombas, avaliando sua melhor performance. Será monitorado se o automático responde adequadamente o sistema de gerenciamento hídrico (neste caso a irrigação), baseado na transmissão dos dados da estação meteorológica para o aplicativo. Os resultados obtidos neste trabalho contribuirão para a validação do conceito de bombeamento inteligente e sustentável.

CONCLUSÃO

¹ UENF, jvmbicock@gmail.com

² UFRJ, rafael.malheiro@gmail.com

A interdependência entre água e energia é um desafio crítico que exige abordagens integradas e sustentáveis para garantir a segurança e a disponibilidade desses recursos essenciais. Este estudo destaca a importância de uma gestão integrada de recursos hídricos e energéticos, considerando as sinergias e os conflitos entre os diferentes usos. A implementação de tecnologias inovadoras, como sistemas de bombeamento solar fotovoltaico e técnicas de irrigação de precisão, demonstra um grande potencial para reduzir o consumo de água e energia, promovendo a sustentabilidade.

A plataforma experimental desenvolvida no LETE no campus da UFRJ Macaé exemplifica como a pesquisa colaborativa e a integração de diferentes setores podem gerar soluções práticas e eficientes. A pesquisa na interseção do clima, água e energia, conduzida em parceria entre a UFRJ e a UENF, tem mostrado resultados promissores no desenvolvimento de sistemas eficientes de bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica. A plataforma experimental no LETE tem permitido a avaliação de diferentes configurações e a otimização do uso de recursos renováveis para diversas aplicações, como, por exemplo, a irrigação agrícola. Os resultados preliminares indicam que o uso de sistemas inteligentes de bombeamento e a automação baseada em dados ambientais podem otimizar o uso dos recursos, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais e econômicos.

A plataforma será ampliada para incluir novas tecnologias e sistemas. Entre as inovações previstas estão: a implementação de sistemas de dessalinização por osmose reversa, que permitirão o tratamento de águas salobras e salgadas para uso potável; a integração de fontes de geração eólica, que complementarão a geração de energia solar e aumentarão a resiliência energética; a acumulação de energia em hidrogênio verde, uma solução sustentável para armazenamento de energia em larga escala. Essa ampliação contribuirá cada vez mais com a promoção da sustentabilidade e a eficiência no uso dos recursos hídricos e energéticos.

Para enfrentar os desafios futuros, é essencial continuar investindo em pesquisa e desenvolvimento, além de fomentar a cooperação entre instituições de ensino, setor privado e órgãos governamentais. A adoção de políticas públicas que incentivem o uso sustentável dos recursos hídricos e energéticos, aliada à conscientização e ao engajamento da sociedade, será fundamental para alcançar um desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DIAS, I. Y. P.; LAZARO, L. L. B.; BARROS, V. G. Water–energy–food security nexus—estimating future water demand scenarios based on nexus thinking: The watershed as a territory. **Sustainability**, v. 15, n. 9, p. 7050, 2023.
2. FLAMMINI, A. *et al.* Walking the nexus talk: Assessing the water-energy-food Nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. **Environment and Natural Resources Management Working Paper**. Roma, Italy: Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2014.
3. HERRERA-FRANCO, G. *et al.* A sustainability approach between the Water–energy–Food nexus and clean energy. **Water**, v. 16, n. 7, p. 1017, 2024.
4. IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
5. ZUFFO, A. C. *et al.* The Cantareira System, the largest south American water supply system: Management history, water crisis, and learning. **Hydrology**, v. 10, n. 6, p. 132, 2023.
6. BRASIL. Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 11 out. 2024.

7. Secas estão se tornando mais frequentes e intensas no Brasil, aponta Cemaden. **Site do Governo Federal do Brasil**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/09/secas-estao-se-tornando-mais-frequentes-e-intensas-no-brasil-aponta-cemaden>>. Acesso em: 09 out. 2024.

8. CEMADEN. **Nota Técnica Nº 529/2024/SEI-CEMADEN**: Avaliação da Criticidade da Seca no Brasil – Agosto de 2024 2024

9. MAPBIOMAS, 2024. **Nota Técnica: Seca Extrema e Incêndios no Pantanal em 2024** 2024

10. DA SILVA, W. T. P.; DE SOUZA, M. A. A. Development of a multicriteria model for crises in urban water supply and its application to the case of Brasília, Brazil. **Integrated environmental assessment and management**, v. 19, n. 1, p. 99–113, 2023.

11. Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Macaé e das Ostras (CBH Macaé Ostras). **Revisão e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (PRH-MACAÉ/OSTRAS) - Módulo I: Diagnóstico e Prognóstico**. 2024.

12. KNIGHTS, D., MACGILL, I., PASSEY, R. **The sustainability of desalination plants in Australia: is renewable energy the answer?** In: OzWater Conference, 2007. Sydney.

PALAVRAS-CHAVE: Binômio água-energia, Energia Renovável, Gestão Integrada de Recursos, Sustentabilidade, Sustentabilidade Hídrica

¹ UENF, jymbicock@gmail.com

² UFRJ, rafael.malheiro@gmail.com