

ÁGUA 4.0: ESTUDO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL

João Pedro da Cruz Passos¹; Luiza Seabra Batista Henriques Ramos²; Maria Fernanda Maia Gosula³; Mateus Casares de Oliveira⁴; Olímpio da Silva Palma⁵; Paula Brígida Freire Dias⁶; Moisés Ferreira Eleutério Silva⁷; Morjane Armstrong Santos de Miranda⁸

¹ **João Pedro da Cruz Passos**; Graduando em Engenharia de Produção; Centro Universitário SENAI CIMATEC; j.passos@aln.senaicimatec.edu.br

² **Luiza Seabra Batista Henriques Ramos**; Graduanda em Arquitetura e Urbanismo; Centro Universitário SENAI CIMATEC; luiza.ramos@aln.senaicimatec.edu.br

³ **Maria Fernanda Maia Gosula**; Graduanda em Engenharia de Produção; Centro Universitário SENAI CIMATEC; maria.gosula@aln.senaicimatec.edu.br

⁴ **Mateus Casares de Oliveira**; Graduando em Engenharia de Produção; Centro Universitário SENAI CIMATEC; mateus.oliveira@aln.senaicimatec.edu.br

⁵ **Olímpio da Silva Palma**; Graduando em Engenharia de Produção; Centro Universitário SENAI CIMATEC; olimpio.palma@aln.senaicimatec.edu.br

⁶ **Paula Brígida Freire Dias**; Graduanda em Arquitetura e Urbanismo; Centro Universitário SENAI CIMATEC; paula.dias@aln.senaicimatec.edu.br

⁷ **Moisés Ferreira Eleutério Silva**; Mestre em Engenharia Civil; Centro Universitário SENAI CIMATEC; moises.silva@fiieb.org.br

⁸ **Morjane Armstrong Santos de Miranda**; Doutora em Administração; Centro Universitário SENAI CIMATEC; morjanessa@gmail.com

RESUMO

No cenário atual, o Brasil é um país que perde grande parte da sua geração de água potável, e um dos principais fatores para que isso ocorra, é a falta de tecnologia para empresas de saneamento básico. As pesquisas indicam que a aplicação da indústria 4.0 oferece uma oportunidade única para revolucionar este setor, levando a uma gestão mais eficaz, reduzindo perdas e garantindo uma distribuição mais equitativa dos recursos hídricos. Este estudo visa investigar como a Água 4.0 pode auxiliar na gestão dos recursos hídricos, identificando oportunidades de aplicação da Tecnologia 4.0 como, Internet das Coisas (IoT), big data, promovendo assim um futuro mais sustentável para a gestão dos recursos hídricos. A equipe fez uma análise das últimas tendências em inteligência artificial aplicadas ao tópico Indústria 4.0, visando não apenas compreender as inovações, mas também sua aplicabilidade.

PALAVRAS-CHAVE : Saneamento Básico; Indústria 4.0; Água

1. INTRODUÇÃO

De acordo com um estudo recente do Instituto Trata Brasil (2021), foi revelado que o Brasil perde em média 40% da água potável produzida, o dobro da taxa da China e consideravelmente superior à dos Estados Unidos, que é de 12%. Esta situação é agravada pelo fato de que muitas empresas de saneamento básico no país não possuem métodos eficazes para lidar com o problema das perdas de água.

Considerando que o Brasil tem um dos mais baixos índices de saneamento básico na América Latina (2016), investir em tecnologia parece ser o melhor curso de ação, apesar de ser um processo que requer tempo. A implementação de soluções baseadas em inteligência artificial pode facilitar o gerenciamento dos serviços comerciais e operacionais, permitindo a detecção rápida e eficaz de danos ou incidentes em tempo real.

A gestão eficiente dos recursos hídricos é um desafio premente no Brasil, onde a escassez, poluição e ineficiência no uso da água são problemas críticos. A Indústria 4.0, com suas tecnologias disruptivas, oferece uma oportunidade única para revolucionar este setor. O avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos, especialmente a quarta revolução industrial, afetou muitos setores ao redor do mundo, em diversas áreas, inclusive no setor de recursos hídricos e saneamento.

Estudos atuais sobre a gestão da água têm se concentrado em soluções pontuais, sem aproveitar integralmente o potencial das tecnologias emergentes. A Água 4.0 propõe preencher essa lacuna, integrando soluções como a Internet das Coisas (IoT), big data e automação para monitorar, prever e otimizar o uso da água. A implementação dessas tecnologias pode levar a uma gestão mais eficaz, reduzindo perdas e garantindo uma distribuição mais equitativa dos recursos hídricos.

A relevância deste projeto reside na sua capacidade de transformar a gestão da água no Brasil. Ao adotar uma abordagem inovadora, a Água 4.0 pode melhorar a previsão de demanda, a detecção de vazamentos e a conservação da água, contribuindo significativamente para a sustentabilidade e segurança hídrica.

O objetivo principal deste estudo é investigar como a Água 4.0 pode auxiliar na gestão dos recursos hídricos, identificando as principais tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis e examinando como elas podem ser empregadas para otimizar o uso da água em diversos setores. Além disso, busca-se compreender os desafios específicos para a implementação dessas tecnologias no Brasil e desenvolver estratégias para superá-los, promovendo assim um futuro mais sustentável para a gestão dos recursos hídricos.

Este artigo está estruturado em cinco seções. Primeiramente esta introdução, seguido da fundamentação teórica. A terceira seção é composta pela apresentação dos métodos e materiais utilizados nesta pesquisa, a seção quatro aborda e discute os resultados identificados. Para finalizar, a quinta e última seção apresenta as considerações finais e traz sugestões para pesquisas futuras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contexto Internacional

A Indústria 4.0 que já é conhecida e implementada em diversos segmentos de empreendimentos tem como pilares e tecnologias principais a Big Data e Data analytics, Robôs autônomos, Cloud computing, Internet das coisas (IoT), Simulações, Integração de sistemas, segurança cibernética, Manufatura aditiva (3D) e a Realidade Aumentada. Muitas delas podem ser aplicadas de formas variadas para auxiliar na gestão de efluentes. Apesar da Indústria 4.0 já ser um conceito bem estabelecido e conhecido, especialmente pelas partes interessadas em tecnologia, estudos sobre sua aplicação diretamente relacionado à administração de recursos hídricos e com relevância significativa ainda são escassos. Porém, nos últimos anos a quantidade de estudos publicados sobre essa ideia tem aumentado cada vez mais.

Os autores Kazeem *et al.* (2022) publicaram juntos a análise "*Review Towards Digitalization of Water Supply Systems for Sustainable Smart City Development—Water 4.0*" sobre água 4.0. Neste texto, publicado pela *Publisher of Open Access Journals*, eles abordaram quatro potenciais aplicações deste conceito: A primeira era o monitoramento da saúde de canos, em seguida o controle e monitoramento de pressão com tecnologias como Sistemas Ciber Físicos e a Internet das Coisas. Além disso, foi trazido à tona o monitoramento da qualidade da água, também com o uso de Sistemas Ciber Físicos e por último a detecção e monitoramento de vazamentos utilizando o machine learning. Algumas das principais conclusões atingidas neste texto foram a necessidade da Transformação Digital na distribuição de água, já que é um sistema complexo e incerto, mas com grande demanda do consumidor e a forma como a integração de informações importantes para este sistema auxilia na tomada de decisões e planejamento futuro. As principais estratégias para o desenvolvimento deste projeto envolvem a implementação da integração pela Internet das Coisas, colecionamento de dados e a cyber segurança. Ainda existem muitos desafios para a execução adequada dessas ideias mas que tem como ponto focal potenciais problemas com a segurança dos dados e a administração da energia consumida com as novas tecnologias.

Por outro lado, Kuzma (2023) do World Resources Industry, nos Estados Unidos, buscou traduzir dados hidrológicos complexos em indicadores intuitivos de risco relacionados à água. Visando que a água é essencial para o progresso da sociedade humana. Pesquisas abordam que: As Projeções Futuras do Aqueduto se baseiam em um conjunto de dados chamado "PCR-GLOWB-based hydrological projection of future global water states with CMIP 6", explicado por Sutan-udjaja (2023). Essas projeções mantêm a mesma estrutura de modelo e categorias de dados que a linha de base, mas são geradas usando dados de forçamento climático distintos e abrangem períodos mais longos. O HYPE FLOWS 6 incorpora dados de forçamento climático de vários cenários futuros de condições socioeconômicas e climáticas, cada um dos quais passa por análise por cinco modelos climáticos distintos

2.2 Contexto Brasil

A Sabesp, uma das principais empresas de saneamento do mundo, anunciou a adoção de um novo sistema centralizado de monitoramento e controle baseado em Inteligência Artificial para telemetria e telemedição (hidrometria). Este sistema será inicialmente implementado nos municípios sob concessão da Sabesp no interior de São Paulo e poderá servir como um piloto para outras unidades da empresa.

Essa iniciativa faz parte da estratégia da Sabesp para desenvolver um modelo de gestão e operação alinhado aos princípios da Saneamento 4.0, visando oferecer serviços de melhor qualidade à população por meio de tecnologias e dispositivos digitais inovadores.

Para lidar com os dados coletados em 13 municípios, foi implementada uma solução de IA capaz de gerenciar todas as informações provenientes dos sensores conectados aos dispositivos de medição de consumo, bem como outros dados dos equipamentos utilizados nos sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto desses municípios.

Em poucos anos após a emergência dos primeiros estudos que abordam a interseção entre a indústria 4.0 e a gestão hídrica, Marcelo Azevedo (2017) contribuiu significativamente ao campo com sua tese intitulada "Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil". O principal objetivo deste trabalho foi compreender a transformação digital aplicada ao setor hídrico e avaliar a capacidade do Brasil em adotar essas mudanças. A pesquisa de Azevedo (2017) mergulhou profundamente na temática, abordando a transformação digital e sua aplicabilidade na otimização da arquitetura tradicional de automação e controle nas indústrias de Utilities. Por meio de extensas pesquisas bibliográficas atualizadas, Azevedo (2017) identificou as tecnologias habilitadoras fundamentais para essa mudança de paradigma, incluindo Internet das Coisas (IoT), Aprendizado de Máquina (Machine Learning), Computação em Nuvem e Névoa (Cloud & Fog Computing), sistemas ciberfísicos e análise de grandes volumes de dados (big data analytics), as quais foram estudadas em profundidade para compreender seu potencial e interação. Além disso, foram exploradas as visões globais que orientam essa transformação digital, com destaque para a Indústria 4.0. Essas visões proporcionaram um contexto estratégico importante para a implementação das tecnologias identificadas. Por meio de um questionário direcionado aos empresários locais, buscou-se avaliar o nível de conhecimento e a disposição para adoção das novas tecnologias. Embora tenha sido identificada uma falta de conhecimento estratégico generalizado sobre o tema, também se observou uma percepção da importância estratégica da transformação digital para o futuro do setor. Diante desse contexto, o segmento de Utilities, com foco no tratamento e distribuição de água, foi selecionado como área de aplicação das tecnologias de transformação digital. Com base em informações coletadas durante uma visita a uma unidade de tratamento e distribuição de água, Azevedo (2017), propôs uma melhoria na arquitetura clássica de automação. Essa nova arquitetura foi aplicada com sucesso no projeto PURA-USP da Universidade de São Paulo, resultando em uma plataforma que automatiza a tomada de decisões, integra diversos componentes e fabricantes, utiliza dados históricos para prever necessidades e permite o gerenciamento remoto da planta. Os benefícios dessa nova plataforma incluem o estímulo ao consumo consciente e a gestão eficiente dos recursos hídricos, apontando para um futuro promissor no campo da gestão hídrica impulsionada pela Indústria 4.0.

O Brasil, detentor de aproximadamente 12% da água doce do planeta, enfrenta o imperativo de gerenciar seus recursos hídricos de forma sustentável, eficiente e equitativa. Nesse contexto, a Indústria 4.0 surge como uma aliada estratégica, oferecendo um conjunto de tecnologias inovadoras com o potencial de transformar a gestão da água no país. A água é um recurso vital para a vida humana, o desenvolvimento social e o crescimento econômico. No entanto, a gestão dos recursos hídricos no Brasil enfrenta diversos desafios, como a desigualdade no acesso à água, a escassez hídrica em algumas regiões, a poluição da água e a infraestrutura precária. Milhões de brasileiros ainda não têm acesso à água potável e ao saneamento básico, configurando uma disparidade social que exige medidas urgentes. Regiões áridas e semiáridas sofrem com a escassez de água, especialmente durante os períodos de seca, impactando negativamente a agricultura, o abastecimento público e o meio ambiente. O lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento adequado contamina os recursos hídricos, comprometendo sua qualidade e uso, exigindo ações rigorosas de controle e fiscalização. A intensificação de eventos extremos como secas e inundações, consequência das mudanças climáticas, exige maior resiliência dos sistemas de gestão da água, necessitando de medidas adaptativas e planejamento estratégico. A precária infraestrutura para captação, tratamento e distribuição de água em muitas regiões leva a perdas significativas por vazamentos e ineficiências, demandando investimentos em modernização e otimização dos sistemas. São esses, exemplos, de milhares de dificuldades que se encontram no território brasileiro, quando se fala em gestão de recursos hídricos.

Diversos projetos já demonstram o potencial da Indústria 4.0 na gestão da água no Brasil, alguns deles já vêm sendo aplicados, e demonstram até então um resultado positivo, como por exemplo o Monitoramento de Vazamentos, onde a SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, (2022) utiliza sensores inteligentes e redes de comunicação para monitorar sua rede de distribuição de água em tempo real, detectando vazamentos de forma rápida e precisa, reduzindo perdas e custos. Outra tecnologia que vem sendo utilizada e testada é a Irrigação Precisa (2020), tecnologia importantíssima para a área da manufatura, que atualmente representa um setor crucial para a economia do país, respondendo por 13,3% do PIB em 2023 (IBGE). Em números absolutos, isso significa que a indústria de transformação gerou R\$1.435,5 bilhões no ano passado.

O sistema Irrigâmetro foi desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) no Brasil (2008). Ele é um equipamento utilizado para auxiliar na gestão e controle da irrigação em plantações, contribuindo para o uso eficiente da água na agricultura utilizando sensores de umidade do solo e dados climáticos para otimizar a irrigação na agricultura. O sistema permite que os agricultores irriguem suas plantações na quantidade certa e no momento ideal, reduzindo o consumo de água e aumentando a produtividade das lavouras. A AGROSMART (2018), startup brasileira, oferece uma plataforma digital que combina dados de sensores, satélites e drones para auxiliar os agricultores no manejo da irrigação. A plataforma fornece informações sobre a necessidade de água das plantações, permitindo que os agricultores irriguem de forma mais eficiente e sustentável, otimizando o uso dos recursos hídricos.

3. METODOLOGIA

A equipe mergulhou em uma análise detalhada das últimas tendências em inteligência artificial aplicadas ao tópico, explorando uma variedade de fontes, incluindo bases de dados especializadas, livros, artigos e teses relevantes publicadas no intervalo de 2014 a 2023. As pesquisas bibliográficas foram extensivas, abrangendo plataformas como o Google Scholar e outras fontes renomadas.

O foco da pesquisa esteve centrado em termos específicos, como "Indústria 4.0" e "Água 4.0", visando não apenas compreender as últimas inovações nessas áreas, mas também analisar a aplicabilidade das tecnologias emergentes. A temática de gestão hídrica foi explorada para examinar como essa nova tecnologia já vem sendo utilizada na administração da água, enquanto a pesquisa se concentrou especificamente no cenário brasileiro para contextualizar o desenvolvimento tecnológico associado à quarta revolução industrial e explorar como essas ferramentas têm sido aplicadas e a capacidade do país de evoluir no setor.

Com base nas informações coletadas, avançou-se para a segunda parte do processo, que consistiu na organização sistemática dos dados reunidos. Para facilitar a compreensão e análise, foram utilizadas tabelas e fichamentos, proporcionando uma apresentação clara e organizada das informações relevantes obtidas durante a pesquisa.

Por último, foram definidos os elementos conceituais necessários para a proposta de nova gestão hídrica, integrando os conhecimentos adquiridos durante a pesquisa bibliográfica. Essa abordagem delinea uma visão integrada que incorpora inovações em inteligência artificial aplicadas ao gerenciamento hídrico, considerando também o desenvolvimento tecnológico associado às novas tendências e possibilidades emergentes nesse campo.

5. REFERÊNCIAS

PINTO, Gustavo. **Saneamento 4.0: como a tecnologia diminui o desperdício de água?**. São Paulo: V2COM, 2021.

OLIVEIRA, A. P. de. **Saneamento 4.0: A Quarta Revolução Industrial no Setor de Saneamento Básico no Brasil**. São Paulo: Editora Blucher, 2023.

LEGNER, Carla. **Como a tecnologia 4.0 pode ajudar no saneamento**. Revista TAE, São Paulo, v. 68, n. 2, p. 44-51, ago./set. 2022.

KAZEEM *et al.* **Review Towards Digitalization of Water Supply Systems for Sustainable Smart City Development—Water 4.0**. Basel: MDPI, 2022

KUZMA, Samantha. **Aqueduct 4.0: Updated decision-relevant global water risk indicators**. Washington DC, World Resources Industry, 2023.

MERLO, Pedro de Seixas Queiroz. **Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil**. São Carlos: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2022.

AZEVEDO, Marcelo Teixeira. **Aplicações de Conceitos da Indústria 4.0 no Processo de Abastecimento de Água Potável do Brasil**. São Paulo: Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil, 2017.

NASCIMENTO, Caio Manguieira do. **Gêmeo Digital de um Sistema de Bombeamento de Água**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2022.

Mais da Metade da Água Potável É Perdida Antes de Chegar Às Moradias da Região Norte. Instituto Trata Brasil, 2021.

REVISTA TAE. **Brasil Ocupa A 11ª Posição Na América Latina Em Saneamento Básico**. TAE, 2016. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/133/brasil-ocupa-a-11a-posicao-na-america-latina-em-saneamento-basico#:~:text=Brasil%20Ocupa%20A%2011%C2%AA%20Posi%C3%A7%C3%A3o.tratamento%20de%20%C3%A1gua%20e%20efluentes>> Acesso em: 9 de abril. 2024

OLIVERA, Rubens A, *et al.* **Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência.** Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2008

FANTIM, T. **Empresa Aposta Em Monitoramento Digital No Campo»** AgroSmart. Disponível em: <<https://agrosmart.com.br/blog/empresa-aposta-em-monitoramento-digital-no-campo/>>. Acesso em: 9 abril. 2024.

MONTENEGRO, Marcos Helano Fernandes . **Os avanços do saneamento em relação ao PIB.** Disponível em: <<https://ondasbrasil.org/os-avancos-do-saneamento-em-relacao-ao-pib/>>. Acesso em: 9 abril. 2024.

PINTO, Gustavo. Saneamento 4.0: como a tecnologia diminui o desperdício de água?. São Paulo: V2COM, 2021.