

Produção Científica sobre Inteligência e Análise de Dados na Gestão da Qualidade da Água: Uma Abordagem Bibliométrica na Base Scopus

Bruno Pereira Diniz (Universidade Federal de Campina Grande)

Hugo Morais de Alcântara (Universidade Federal de Campina Grande)

Daniel Augusto de Moura Pereira (Universidade Federal de Campina Grande)

1) Introdução

A gestão da qualidade da água é um dos pilares fundamentais da sustentabilidade ambiental e da segurança hídrica em escala global. A crescente pressão sobre os recursos hídricos, provocada pela urbanização acelerada, pela intensificação das atividades industriais e agrícolas e pelos efeitos das mudanças climáticas, exige o aprimoramento de estratégias que garantam a disponibilidade e a qualidade desse recurso essencial à vida (Dixit et al., 2022).

Nesse contexto, o uso de inteligência e análise de dados tem se consolidado como ferramenta indispensável para apoiar decisões baseadas em evidências e promover uma gestão mais eficiente e integrada dos sistemas hídricos (Ncube; Ngulube, 2024).

O avanço das tecnologias digitais e o acesso a grandes volumes de informações ambientais permitem hoje a aplicação de abordagens analíticas capazes de identificar padrões, prever cenários e otimizar o monitoramento da qualidade da água. Ferramentas de business intelligence (BI), como o Power BI, associadas a métodos de análise estatística, mineração de dados e visualização interativa, vêm sendo amplamente utilizadas para transformar dados brutos em conhecimento estratégico (Adewusi et al., 2024).

Essas tecnologias facilitam a compreensão de indicadores e índices de qualidade da água, subsidiando políticas públicas, processos de regulação e ações de planejamento voltadas à sustentabilidade dos recursos hídricos (Alexakis, 2021).

Entretanto, a produção científica sobre a aplicação da inteligência e análise de dados na gestão da qualidade da água ainda se apresenta dispersa entre diferentes áreas do conhecimento, como engenharia ambiental, ciência da computação, geoprocessamento e políticas públicas (Miller et al., 2025). Essa fragmentação dificulta a identificação de tendências, lacunas e convergências entre os estudos, limitando o avanço integrado da pesquisa e o desenvolvimento de soluções inovadoras no campo da gestão ambiental (Ezeigweneme et al., 2025).

Diante disso, a análise bibliométrica surge como uma ferramenta eficaz para compreender o estado da arte dessa temática. Por meio do mapeamento de publicações, autores, países, redes de coautoria e palavras-chave, a bibliometria permite identificar os principais focos de investigação, a evolução histórica do tema e as áreas emergentes de pesquisa.

2) Objetivo Geral e Específicos

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo geral conduzir uma análise bibliométrica ampla sobre a produção científica relacionada à inteligência e análise de dados aplicada à qualidade da água. O estudo busca identificar lacunas existentes na literatura, oferecendo uma visão comparativa entre as abordagens globais e nacionais. Ao sistematizar esse conhecimento, pretende-se contribuir para o direcionamento de pesquisas futuras e para o aprimoramento das políticas públicas no setor.

Os objetivos específicos são:

- Levantar publicações na base Scopus sobre inteligência e análise de dados na qualidade da água;
- Tratar e analisar os dados com o software Bibliometrix;
- Identificar os principais países e áreas com maior produção sobre o tema;
- Analisar a evolução temporal das publicações e as redes de coautoria;
- Mapear as palavras-chave mais frequentes e as tendências de pesquisa;
- Indicar lacunas e oportunidades para novos estudos na área.

3) Metodologia

Este estudo adota uma abordagem quantitativa com caráter exploratório. A pesquisa bibliométrica foi conduzida utilizando técnicas de mineração de dados, com informações extraídas da base Scopus, a maior base de dados científicos do mundo.

Os dados obtidos foram processados e analisados por meio do software Bibliometrix (Aria; Cuccurullo, 2017), uma biblioteca da linguagem R desenvolvida especificamente para estudos bibliométricos. Essa ferramenta possibilita a extração de métricas descritivas, a construção de redes de co-ocorrência de palavras-chave e a elaboração de mapas temáticos e gráficos de colaboração científica.

A estratégia de busca foi elaborada a partir de combinações de palavras-chave relacionadas aos eixos principais do estudo, inteligência de dados, análise de dados, tomada de decisão e qualidade da água, utilizando operadores booleanos para ampliar a abrangência e a precisão dos resultados. Assim, a consulta principal na *Scopus* seguiu a seguinte estrutura:

- (“*data intelligence*” OR “*business intelligence*” OR “*Power BI*”) AND (“*water quality*” OR “*water quality indicators*”)

O período de análise considerou publicações compreendidas entre os anos de 2010 e 2025. Após a coleta, os registros foram submetidos à limpeza e padronização de metadados, incluindo títulos, autores, afiliações, países e palavras-chave, a fim de garantir a consistência dos resultados.

Com base nos dados tratados, foram geradas diversas métricas bibliométricas, como:

- Evolução temporal das publicações;
- Principais áreas;
- Países com maior produção;
- Nuvem de palavras e rede de co-ocorrência;
- Mapa temático e rede de colaboração internacional.

Paralelamente, foram utilizadas as funcionalidades da própria base Scopus, como a ferramenta “*Analyze Search Results*”, que permitiu obter informações complementares

sobre o volume anual de publicações, as áreas de conhecimento mais representativas e os países com maior número de citações.

Essa combinação de procedimentos possibilitou uma visão integrada e quantitativa sobre o desenvolvimento da pesquisa em inteligência e análise de dados na gestão da qualidade da água, contribuindo para identificar lacunas, tendências emergentes e oportunidades para futuras investigações científicas.

4) Resultados e Discussões

A pesquisa realizada na base Scopus identificou 30 documentos relacionados à aplicação da inteligência e análise de dados na gestão da qualidade da água, publicados entre os anos de 2010 e 2025. Os dados foram processados e analisados por meio do software Bibliometrix, o que permitiu gerar indicadores bibliométricos e gráficos interpretativos.

O sumário bibliométrico na Figura 1 apontou a existência de 30 publicações, distribuídas em 20 fontes diferentes, com 161 autores no total. O número médio de coautores por artigo foi de 7,8, evidenciando um grau moderado de colaboração científica. A taxa média anual de crescimento das publicações foi de 7,6%, o que demonstra o aumento gradual do interesse pela temática nos últimos anos. O conjunto de publicações apresentou idade média de 4,13 anos e média de 20 citações por documento, o que indica que os estudos possuem relevância crescente na literatura recente.

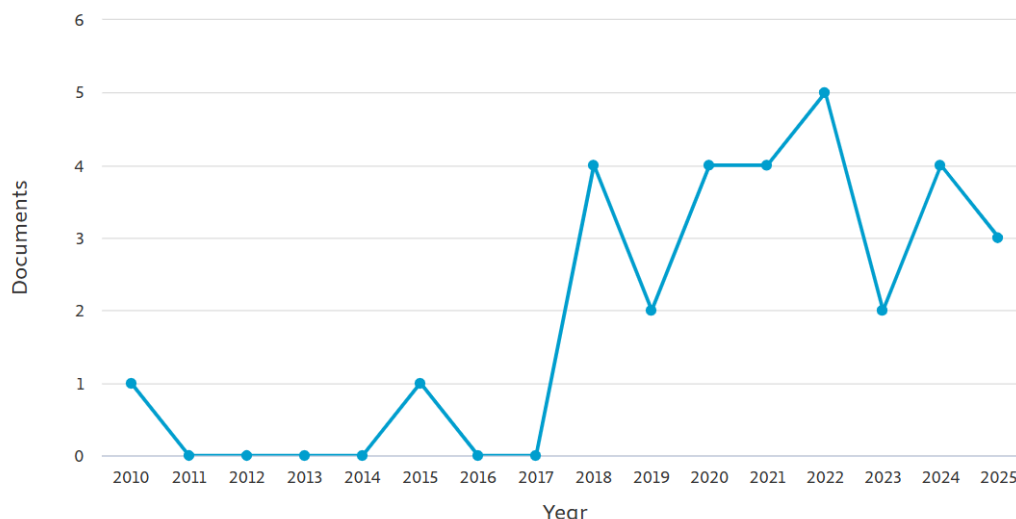
Figura 1 – Sumário sobre o Emprego da Inteligência e Análise de Dados na Qualidade de Água



Fonte: Autores (2025)

A evolução temporal da produção científica, como ilustra a Figura 2 revela crescimento contínuo entre 2016 e 2025. Entre 2010 e 2015, o número de publicações era inferior a 2 por ano, a partir de 2018, o tema ganha destaque, atingindo 5 publicações em 2022 e 4 em 2024, o que representa o maior volume do período analisado. Esse aumento coincide com o avanço das tecnologias de *big data*, *machine learning* e BI, amplamente aplicadas no monitoramento da qualidade da água e em sistemas de apoio à decisão.

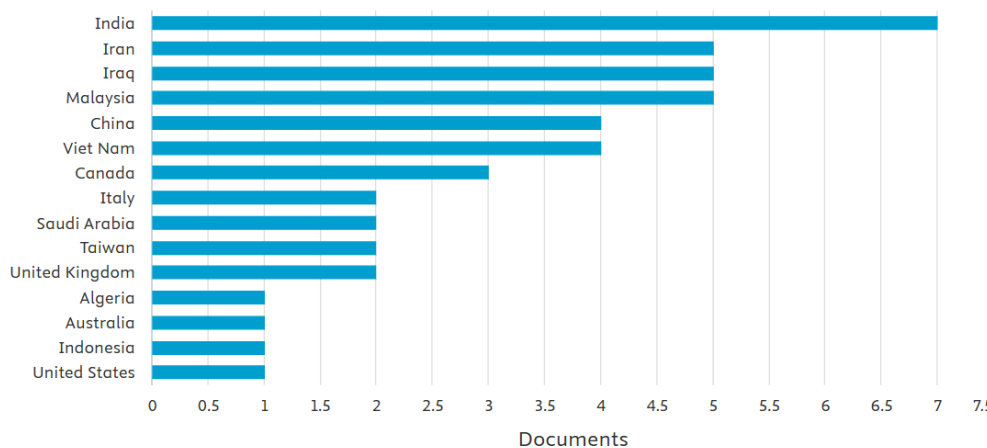
Figura 2 – Produção Científica Anual sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade de Água



Fonte: Autores (2025)

A distribuição geográfica, como mostra a Figura 3 evidencia que a Índia lidera a produção científica, com 7 documentos, seguidos pelo Irã, Iraque e Malásia com 5 trabalhos. Outros países com participação relevante incluem China (4), Reino Unido (2) e Itália (2). A presença de países europeus e asiáticos entre os principais produtores reforça o protagonismo de centros de pesquisa com forte integração entre ciência de dados e gestão ambiental. A América Latina não apresenta participação.

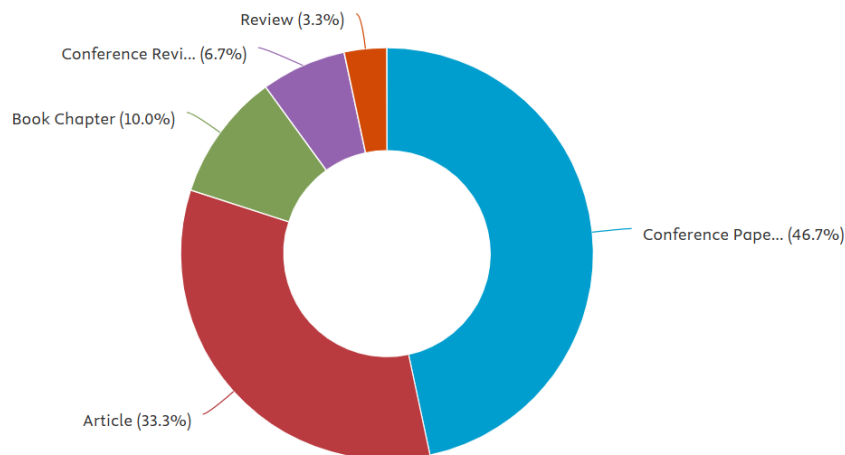
Figura 3 – Produção Científica Anual sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade de Água por País



Fonte: Autores (2025)

Conforme os dados da base Scopus, a Figura 4 apresenta os artigos de conferência representam a maior parcela dos documentos (14, equivalentes a 46,6%), seguidos por artigos (10, ou 33,3%). Foram ainda identificados 3 capítulos de livro (10%), 2 revisões de conferência (6,7%) e 1 revisão sistemática (3,4%). A predominância de *conference papers* demonstra o caráter dinâmico e exploratório do tema, ainda em fase de consolidação científica.

Figura 4 – Documentos por Tipo na Inteligência e Análise de Dados na Qualidade de Água

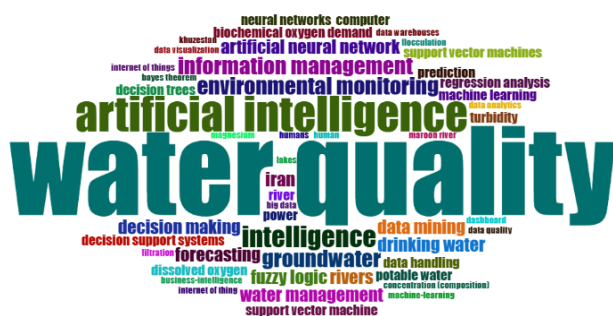


Fonte: Autores (2024)

A Figura 5 apresenta a análise de frequência das palavras-chave evidenciando a centralidade de termos diretamente ligados ao objeto de estudo. O termo “*water quality*” (qualidade da água) apresentou a maior incidência, com 25 ocorrências, seguido por “*artificial intelligence*” (inteligência artificial) (10), “*intelligence*” (inteligência) (6), “*environmental monitoring*” (monitoramento ambiental) (5) e “*information management*” (gestão da informação) (5).

Termos como “*artificial neural network*” (rede neural artificial), “*data mining*” (mineração de dados), “*decision making*” (tomada de decisão) e “*drinking water*” (água potável) aparecem com 4 ocorrências cada, demonstrando a presença crescente de estudos que integram *data mining* e *machine learning* aos indicadores ambientais.

Figura 5 – Nuvem de Palavras sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade de Água



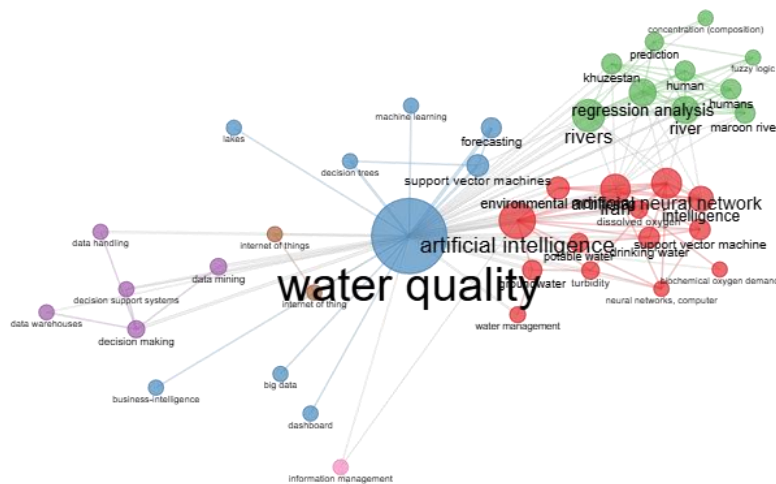
Fonte: Autores (2025)

A rede de co-ocorrência de palavras-chave, apresentada na Figura 6, revelou três clusters principais. A rede de co-ocorrência evidenciando que “*water quality*” (qualidade da água) é o termo central, fortemente conectado a “*artificial intelligence*” (inteligência artificial), “*support vector machines*” (máquinas de vetor de suporte) e “*neural networks*” (redes neurais), indicando o uso crescente de técnicas de aprendizado de máquina na avaliação hídrica.

O cluster azul relaciona-se à análise preditiva (*machine learning* (aprendizado de máquina), *forecasting* (previsão), *big data* (grandes dados)), enquanto o vermelho agrupa temas voltados à gestão e monitoramento da água (*dissolved oxygen demand* (demanda de oxigênio dissolvido), *water management* (gestão da água)).

O cluster verde reúne aspectos ambientais e regionais, como *rivers* (rios), *regression analysis* (análise de regressão) e *fuzzy logic* (lógica fuzzy), e os grupos periféricos tratam de tópicos emergentes como *internet of things* (internet das coisas) e *information management* (gestão da informação). No conjunto, a rede revela a integração entre qualidade da água, inteligência artificial e modelagem preditiva, consolidando um campo interdisciplinar em expansão.

Figura 6 – Rede de Co-ocorrência sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade de Água

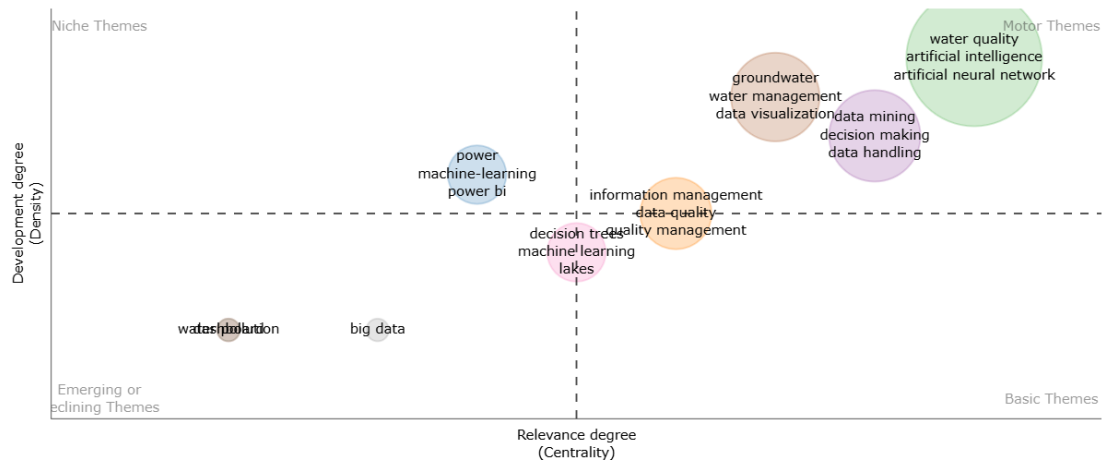


Fonte: Autores (2025)

O mapa temático da Figura 7 mostra que “*water quality*” (qualidade da água), “*artificial intelligence*” (inteligência artificial) e “*artificial neural network*” (rede neural artificial) são temas centrais e consolidados. Os temas básicos, como *data handling* (tratamento de dados), *data mining* (mineração de dados) e *water management* (gestão da água), sustentam o campo.

Tópicos como *machine learning* (aprendizado de máquina) e *power bi* (Power BI) surgem como nichos aplicados, enquanto *big data* (grandes dados) e *water infiltration* (infiltração de água) aparecem como tendências emergentes. O conjunto evidencia o avanço do uso da inteligência artificial e da análise de dados na gestão e monitoramento da qualidade da água.

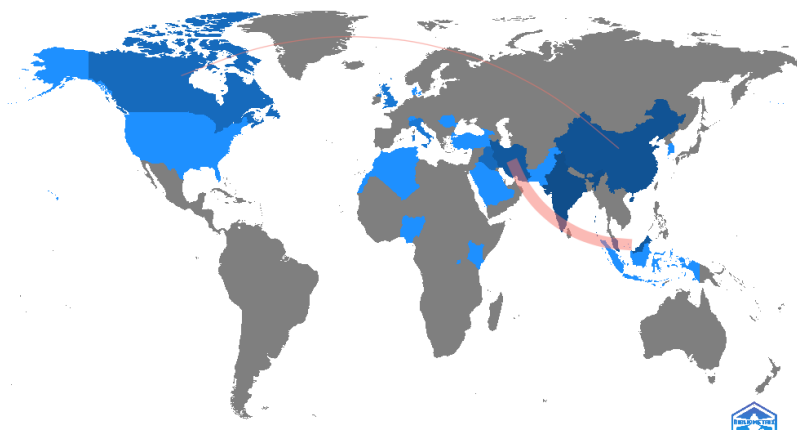
Figura 7 – Mapa Temático sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade de Água



Fonte: Autores (2025)

A Figura 8 mostra a rede internacional de colaboração apresenta maior densidade entre Canadá, China e Índia, com fortes conexões bilaterais. Observa-se, ainda, cooperação relevante entre Índia e países da Oceania, voltada à modelagem de indicadores ambientais. Já participação da América Latina é nula. Esses dados reforçam a necessidade de ampliar redes científicas regionais e fortalecer parcerias internacionais em pesquisas sobre gestão hídrica baseada em dados.

Figura 8 – Colaboração entre Países sobre Inteligência e Análise de Dados na Qualidade de Água



Fonte: Autores (2025)

5) Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua apoio técnico científico aportado até o momento.

6) Referências

ALEXAKIS, Dimitrios E. Linking DPSIR model and water quality indices to achieve sustainable development goals in groundwater resources. **Hydrology**, v. 8, n. 2, p. 90, 2021.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

ADEWUSI, Adebunmi Okechukwu et al. Business intelligence in the era of big data: a review of analytical tools and competitive advantage. **Computer Science & IT Research Journal**, v. 5, n. 2, p. 415-431, 2024.

DIXIT, Arohi et al. Impact of climate change on water resources, challenges and mitigation strategies to achieve sustainable development goals. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 14, p. 1296, 2022.

EZEIGWENEME, Chinedu Alex et al. A review of technological innovations and environmental impact mitigation. **World Journal of Advanced Research and Reviews**, v. 21, n. 1, p. 075-082, 2024.

MILLER, Tymoteusz et al. Integrating artificial intelligence agents with the internet of things for enhanced environmental monitoring: applications in water quality and climate data. **Electronics**, v. 14, n. 4, p. 696, 2025.

NCUBE, Mthokozisi Masumbika; NGULUBE, Patrick. Enhancing environmental decision-making: a systematic review of data analytics applications in monitoring and management. **Discover Sustainability**, v. 5, n. 1, p. 290, 2024.