

ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA E BIBLIOMÉTRICA DAS ADAPTAÇÕES DO MÉTODO DRASTIC NA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Thais Rodrigues Marques*

Ana Paula da Costa da Silva*

Leonardo Santos Andrade*

Resumo: Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura (cienciometria e bibliometria) sobre o uso e as adaptações do método DRASTIC (da sigla inglesa Depth to water, Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone, Conductivity) na avaliação da vulnerabilidade e do risco de contaminação de águas subterrâneas. A motivação decorre da crescente necessidade de proteger os recursos hídricos frente à presença de contaminantes difusos, como o nitrato, frequentemente associado à atividade agrícola, problema evidenciado em aquíferos relevantes, como o Sistema Aquífero Serra Geral (Dourados/MS). A metodologia consiste na extração e análise de artigos científicos da base *Scopus*, aplicando técnicas de cienciometria para identificar autores, instituições e países mais influentes, e de bibliometria para mapear redes de co-citação e co-ocorrência de palavras-chave. Espera-se obter uma visão quantitativa e panorâmica da evolução do uso do método DRASTIC e suas variações (como o DRASTIC-N), identificando tendências, lacunas e áreas geográficas de maior aplicação, de modo a subsidiar o planejamento e a gestão sustentável das águas subterrâneas.

Palavras-chave: DRASTIC; água subterrânea; vulnerabilidade; aquífero; cienciometria; bibliometria.

INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos hídricos subterrâneos representa um desafio central para o equilíbrio ambiental e para a manutenção das atividades humanas, uma vez que a contaminação de aquíferos compromete ecossistemas, afeta a saúde pública e impõe impactos socioeconômicos significativos. Esses impactos se refletem no aumento dos custos associados ao tratamento de doenças de veiculação hídrica e na necessidade de elevados investimentos em tecnologias de remediação. No município de Dourados, no estado de Mato Grosso do Sul, o

* Instituto de Química/UF CAT: thaisr1910@gmail.com; ana_paulacostasilva@poli.ufjf.br; ls_andrade@ufcat.edu.br

Sistema Aquífero Serra Geral configura-se como a principal fonte de abastecimento humano e agroindustrial, desempenhando papel estratégico para o desenvolvimento regional. Contudo, essa importante reserva hídrica encontra-se sujeita a riscos crescentes decorrentes da pressão das atividades antrópicas, do desenvolvimento urbano e da expansão agrícola, associados às características naturais da região, conforme destacado por Lastoria *et al.* (2006).

Entre os contaminantes que afetam as águas subterrâneas, o nitrato destaca-se como um dos mais preocupantes, em razão de sua elevada mobilidade no solo e de sua origem predominantemente antrópica. As principais fontes desse composto incluem o lançamento inadequado de esgotos domésticos em áreas urbanas e o uso intensivo de fertilizantes e outros insumos agrícolas em áreas rurais, fatores amplamente associados à degradação da qualidade das águas subterrâneas (Harsimrat, 2024; Stadioto, Teramoto & Chang, 2019). A presença de nitrato em aquíferos representa não apenas um risco ambiental, mas também um problema de saúde pública, o que reforça a necessidade de ferramentas eficazes para a avaliação e o gerenciamento da vulnerabilidade desses sistemas.

Nesse contexto, a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos assume papel fundamental no planejamento ambiental e na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. O método DRASTIC (da sigla inglesa *Depth to water, Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone, Conductivity*) destaca-se por sua aplicabilidade, simplicidade e capacidade de adaptação a diferentes condições hidrogeológicas, sendo amplamente utilizado para identificar áreas mais suscetíveis à contaminação e subsidiar ações de conservação e ordenamento territorial (Elzain *et al.*, 2021; Wei *et al.*, 2021). Ao longo dos anos, esse método tem sido ajustado e aprimorado, dando origem a variações que buscam incorporar contaminantes específicos, como o nitrato, e atender a diferentes contextos regionais.

Paralelamente, a bibliometria e a cienciometria consolidam-se como abordagens relevantes para a análise do conhecimento científico, uma vez que permitem identificar tendências de pesquisa, redes de colaboração, principais autores, instituições e áreas geográficas de maior produção científica. A aplicação dessas técnicas possibilita compreender de que forma a comunidade acadêmica internacional tem empregado e adaptado o método DRASTIC na avaliação da

vulnerabilidade de aquíferos à contaminação por nitrato, bem como identificar lacunas e oportunidades de pesquisa.

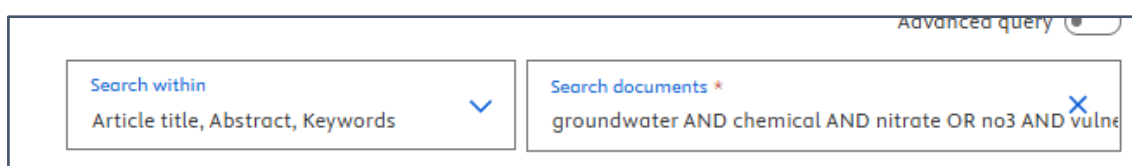
Diante desse cenário, o presente trabalho realiza uma análise bibliométrica e cienciométrica da produção científica relacionada ao uso e às adaptações do método DRASTIC na avaliação da vulnerabilidade e do risco de contaminação de águas subterrâneas. Ao sistematizar a evolução desse conhecimento, busca-se fornecer subsídios técnicos e científicos que contribuam para o planejamento e a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, com especial relevância para contextos semelhantes ao do município de Dourados, Mato Grosso do Sul.

MATERIAIS E MÉTODOS

Banco de Dados e Parâmetros de Buscas

A pesquisa foi conduzida a partir da base de dados *Scopus* (Elsevier), reconhecida por sua ampla cobertura de periódicos científicos revisados por pares, no dia 31 de março de 2025. A estratégia de busca foi estruturada por meio da combinação de termos específicos utilizando operadores booleanos, conforme a seguinte expressão: TITLE-ABS-KEY (groundwater AND chemical AND nitrate OR NO₃ AND vulnerab*), conforme mostrado na Figura 1 abaixo.

Figura 1. Scopus (Elsevier)



The image shows a search bar from the Scopus database. On the left, there is a dropdown menu labeled 'Search within' with the selected option 'Article title, Abstract, Keywords'. To the right of this menu is a search input field containing the query: 'groundwater AND chemical AND nitrate OR no3 AND vulnerab*'. Above the search bar, the text 'Advanced query' is visible with a small icon.

Fonte: Scopus (2025).

A utilização dos operadores booleanos teve como objetivo refinar e ampliar a recuperação dos estudos relevantes. De acordo com Kolli *et al.* (2024), o operador *AND* possibilita a interseção entre temas centrais da pesquisa, assegurando que os documentos recuperados abordem simultaneamente aspectos relacionados à água subterrânea, à composição química e à vulnerabilidade. Já o operador *OR* permite a inclusão de sinônimos e variações terminológicas, como “nitrate” e “NO₃”, ampliando o alcance da busca. Adicionalmente, o uso do operador de truncamento (*) no termo vulnerab* possibilitou a captura de diferentes variações da palavra, tais como *vulnerability* e *vulnerable*, garantindo maior abrangência dos resultados.

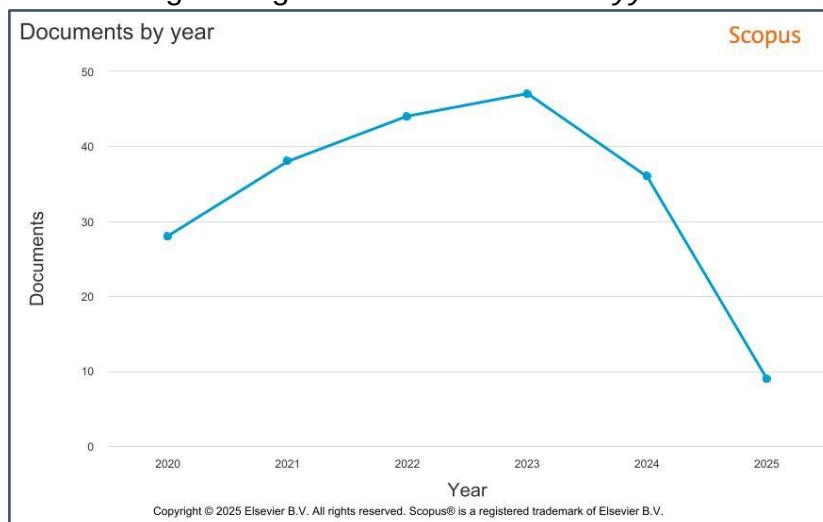
Critérios de Seleção

A busca inicial resultou em um total de 201 documentos. Em seguida, foi aplicado um filtro temporal, restringindo o período de publicação entre 2020 e 2025, de modo a contemplar estudos recentes e alinhados ao estado da arte da temática. Posteriormente, realizou-se uma triagem baseada na leitura técnica dos títulos e resumos, com o objetivo de excluir trabalhos que não apresentassem aderência ao escopo da pesquisa. Ao final desse processo, foram selecionados 48 artigos, os quais constituem a base analítica deste estudo e encontram-se detalhados na Tabela de Revisão de Literatura apresentada neste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados extraídos da base *Scopus* entre 2020 e 2025 revela um panorama detalhado da pesquisa mundial. Ao observar o gráfico de "*Documents by year*" (Figura 2), nota-se uma produção científica constante e resiliente, o que reforça a natureza crítica do tema frente às mudanças climáticas e ao uso do solo (PERSUAD & LEVISON, 2021).

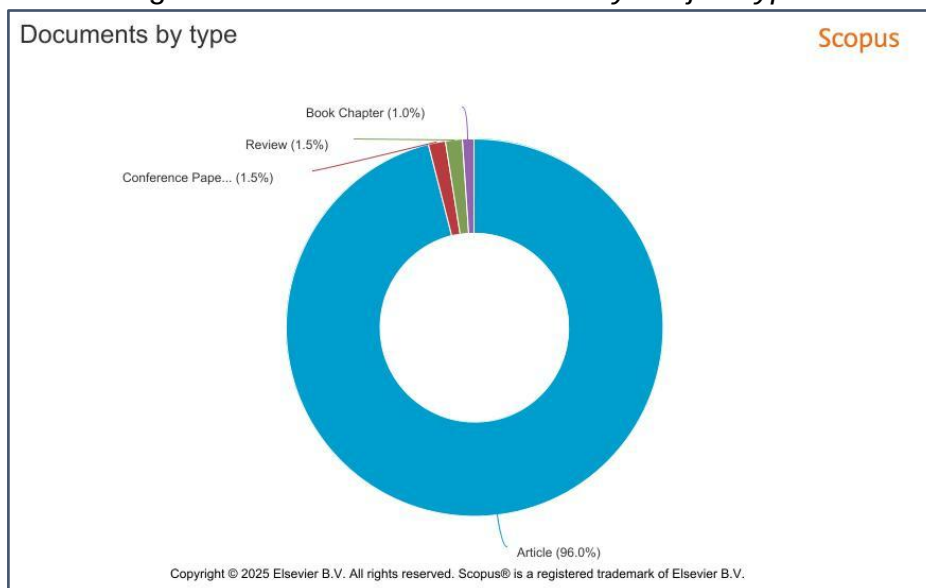
Figura 2. gráfico de "*Documentsbyyear*".



Fonte: Scopus (2025).

Em relação à tipologia do conhecimento, o gráfico "*Documents by type*" (Figura 3) aponta que 96% da produção ocorre por meio de artigos originais. Esse dado é vital para esta pesquisa, pois indica que o estado da arte é construído sobre experimentações práticas e estudos de campo, e não apenas revisões teóricas.

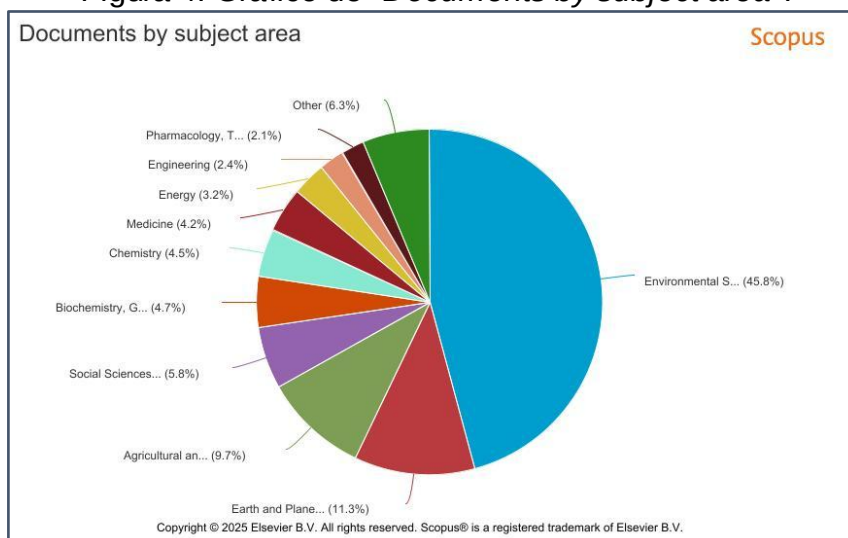
Figura 3. Gráfico de "Documents by subject type".



Fonte: Scopus (2025).

Complementarmente, o gráfico "Documents by subject area" (Figura 4) evidencia a predominância das Ciências Ambientais, que concentram 45,8% das pesquisas, seguidas pelas Ciências da Terra e Planetárias e pelas Ciências Agrárias e Biológicas. Essa distribuição confirma a natureza interdisciplinar dos estudos sobre contaminação ambiental, ao integrar conhecimentos de geologia, química e gestão do uso do solo, conforme destacado por Elzain *et al.* (2022), que ressaltam a necessidade de uma abordagem integrada para a identificação de fontes poluidoras, como fertilizantes e resíduos urbanos.

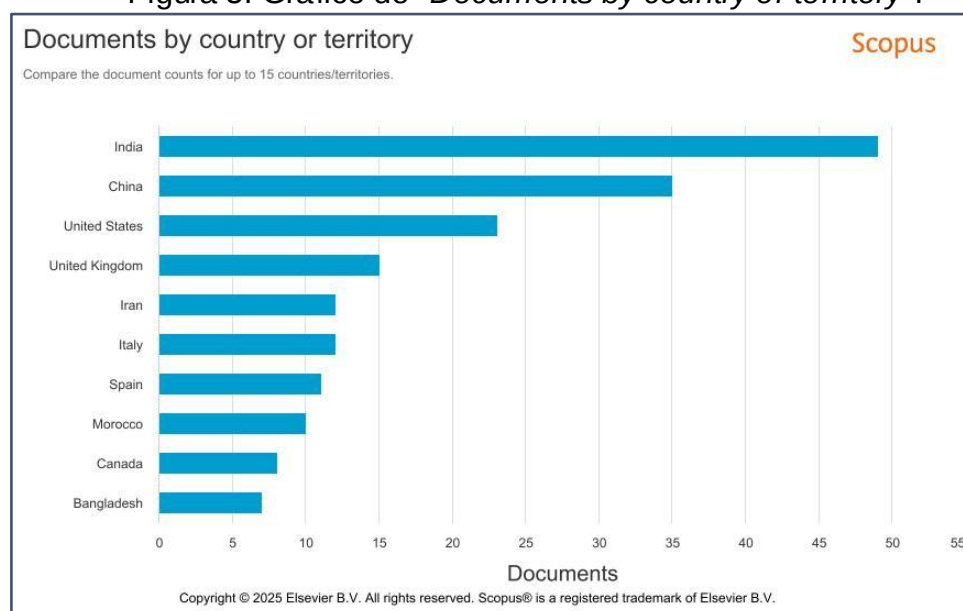
Figura 4. Gráfico de "Documents by subject area".



Fonte: Scopus (2025).

Considerando a cienciometria por país, o gráfico "*Documents by country or territory*" (Figura 5), destaca-se a Índia e a China como os maiores produtores de conhecimento na área, liderando o ranking de publicações seguidas pelos Estados Unidos, Irã e Itália. Essa liderança reflete a realidade de territórios com agricultura intensiva, onde o risco de lixiviação de nitrato é monitorado rigorosamente para garantir a segurança alimentar e a saúde pública (KOLLI *et al.*, 2024). Ademais, segundo (MODI & SHRIMALI, 2024), essa liderança asiática correlaciona-se com a dependência crítica de águas subterrâneas nessas regiões.

Figura 5. Gráfico de "*Documents by country or territory*".

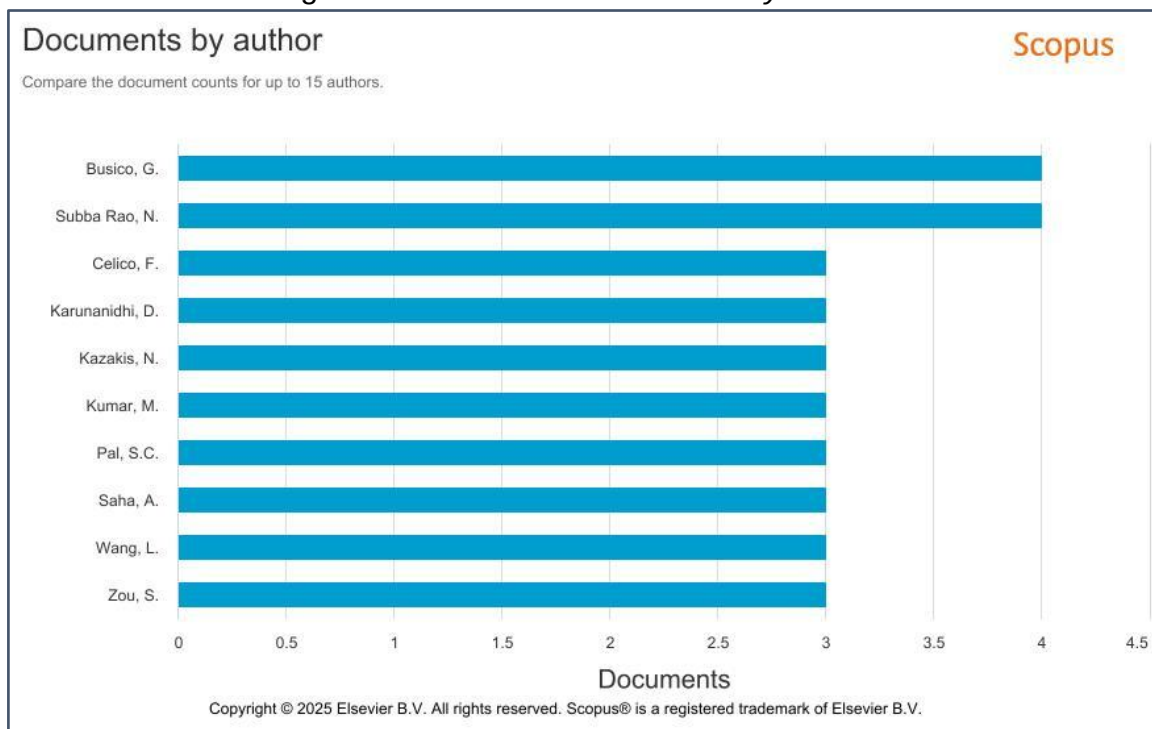


Fonte: Scopus (2025).

Os periódicos de maior impacto na área, como *Water* (Switzerland), *Environmental Science and Pollution Research* e *Science of the Total Environment*, destacam-se como os principais veículos de disseminação de estudos que integram o modelo DRASTIC a abordagens inovadoras, a exemplo de redes neurais e lógica fuzzy (Bahrami, Esslamzadeh & Zarei, 2022).

Nesse contexto, autores como Busico, G. e Kazakis, N. figuram entre os mais prolíficos e influentes, de acordo com o gráfico "*Documents by author*" (Figura 6), concentrando suas pesquisas na hibridização de métodos com vistas à redução da subjetividade dos pesos originais do DRASTIC, especialmente por meio da incorporação do uso do solo (L) e de parâmetros específicos relacionados ao nitrato (N).

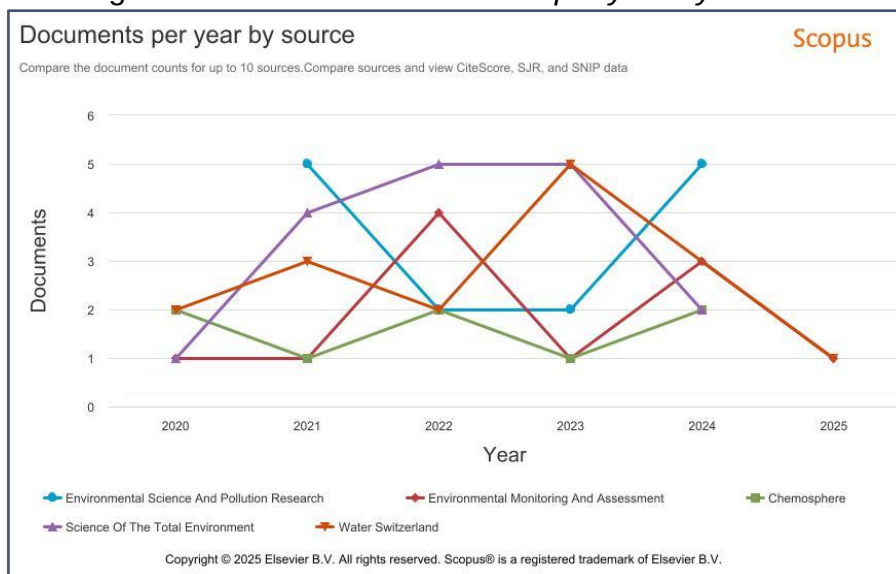
Figura 6. Gráfico de "Documents by author".



Fonte: Scopus (2025).

A recorrência dessas publicações em periódicos de alto impacto, conforme indicado pelo gráfico "Documents per year by source" (Figura 7), reforça a relevância acadêmica e a consolidação dessas metodologias no campo dos estudos de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos.

Figura 7. Gráfico de "Documents per year by source".



Fonte: Scopus (2025).

Interpretação dos Dados da Revisão (Excel)

A análise detalhada dos 48 artigos selecionados (triados a partir de 201 documentos iniciais) permitiu identificar tendências metodológicas cruciais. Observou-se que a aplicação isolada do DRASTIC tem dado lugar a modelos hibridizados. Bera *et al.* (2021) e Wei *et al.* (2021) demonstram que a inclusão de parâmetros específicos de uso do solo e concentrações químicas (como na camada "Factor Scores") eleva a precisão do mapeamento de risco.

Os estudos analisados no Excel mostram que o software ArcGIS/QGIS é a ferramenta padrão para o processamento desses dados geográficos. Em consonância com Tripathi, Chaurasia e Sharma (2021), o uso dessas geotecnologias permite a visualização espacial da vulnerabilidade, facilitando a identificação de zonas prioritárias de conservação. Em Dourados, essa integração metodológica, unindo o rigor físico do DRASTIC à agilidade do QGIS, projeta-se como o caminho mais seguro para garantir a disponibilidade de água potável para as futuras gerações.

CONCLUSÃO

A análise cienciométrica evidenciou que o modelo DRASTIC, embora criado na década de 1980, permanece como a base das avaliações de vulnerabilidade de aquíferos, porém com uma tendência clara de evolução para modelos híbridos (DRASTIC-N, AHP-DRASTIC). O mapeamento via SIG (QGIS/ArcGIS) e a validação com dados reais de nitrato são práticas onipresentes na literatura internacional de alto impacto.

Esses resultados validam a metodologia proposta para o estudo em Dourados (MS), confirmando que a análise espacial da vulnerabilidade é o caminho mais eficaz para a proteção do Sistema Aquífero Serra Geral frente aos contaminantes de origem antrópica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (ABNT)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: Informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BAHRAMI, M.; ESSLAMZADEH, M. J.; ZAREI, A. R. Assessment of ground water vulnerability using GIS-based modified DRASTIC models. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, v. 24, n. 2, p. 2250029, 2022.

BERA, A. *et al.* Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC model in Nangasai River Basin, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 214, p. 112085, 2021.

ELZAIN, H. E. *et al.* Hydrological and hydrochemical assessment of groundwater vulnerability to contamination. *Journal of Cleaner Production*, v. 292, p. 125993, 2021.

KOLLI, S. R. *et al.* Vulnerability of groundwater from elevated nitrate pollution across India: insights from spatio-temporal patterns using large-scale monitoring data. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 243, p. 103895, 2021.

LASTORIA, G. *et al.* Avaliação da vulnerabilidade de aquíferos por meio do método DRASTIC no município de Dourados, MS. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 255–262, 2006.

STADIOTO, S. C.; TERAMOTO, E. T.; CHANG, H. K. Concentrações de nitrato nas águas subterrâneas da região de Dourados, Mato Grosso do Sul. *Geologia USP. Série Científica*, v. 19, n. 1, p. 3–16, 2019.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Artigos selecionados para bibliometria e cienciométrica)

ABEDIN, M. Z. *et al.* Index-based groundwater vulnerability and water quality assessment in a fast-growing city of South Asia. *Scientific Reports*, v. 14, 520, 2024.

AGHAPOUR, S. *et al.* Comparative health risk assessment of nitrate in drinking groundwater resources of urban and rural regions (Isfahan, Iran), using GIS. *Environ Monit Assess*, v. 193, n. 794, 2021.

ASTABELLA, R. D.; WIDYASTUTI, M.; ADJI, T. N. Analysis of Groundwater Vulnerability to contamination in Wonosari Basin and Gunungsewu Karst Transition Zone, Yogyakarta, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, v. 468, 08002, 2023.

AZIZ, Q. *et al.* Hydrochemical properties of groundwater and land use and land cover changes impact on agricultural productivity in the Lower Chenab Canal, Punjab, Pakistan. *Scientific Reports*, v. 14, p. 1-18, 2024.

- BAHRAMI, M.; ESSLAMZADEH, M. J.; ZAREI, A. R. Assessment of Groundwater Vulnerability Using GIS-Based Modified DRASTIC Models, Case Study: Fasarood Plain, South Iran. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, v. 24, n. 2, 2250029, 2022.
- BENTEKHICI, N. *et al.* Mapping and assessment of groundwater pollution risks in the main aquifer of the Mostaganem plateau (Northwest Algeria). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, p. 45074-45104, 2024.
- BERA, A. *et al.* Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC model in Nangasai River Basin, India with special emphasis on agricultural contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 214, 112085, 2021.
- BERA, A.; MUKHOPADHYAY, B. P.; DAS, S. Groundwater vulnerability and contamination risk mapping of semi-arid Totko river basin, India using GIS-based DRASTIC model and AHP techniques. *Chemosphere*, v. 307, p. 135831, 2022.
- BOUFEKANE, A. *et al.* Hybridization of DRASTIC Method to Assess Future GroundWater Vulnerability Scenarios: Case of the Tebessa-Morsott Alluvial Aquifer (Northeastern Algeria). *Applied Sciences*, v. 12, n. 18, 9205, 2022.
- CHAUDHARY, J.; SINGH, K. K. Use of waterquality index and DRASTIC index and DRASTIC index correlation for better assessment of groundwater quality and vulnerability. *Water Supply*, v. 23, n. 1, p. 231–248, 2023.
- DAS, S. *et al.* A high-resolution nitrate vulnerability assessment of Sandy aquifers (DRASTIC-N). *Environmental Challenges*, v. 14, 100824, 2024.
- EL GHAZALI, E. *et al.* Appraisal of Groundwater Vulnerability Pollution Mapping Using GIS Based GOD Method: Case Study of Saiss Plain, Morocco. *Journal of Ecological Engineering*, v. 25, n. 4, p. 110-123, 2024.
- EL HARIRI, S. E. *et al.* Assessment of aquifer specific vulnerability to total nitrate contamination using an inclusive index (GTCRI) in a Mediterranean coastal aquifer. *Journal of African Earth Sciences*, v. 210, 105151, 2024.
- EL HARIRI, S. E. *et al.* Quantifying the groundwater total contamination risk using an inclusive index (GTCRI) in a Mediterranean coastal aquifer. *Journal of African Earth Sciences*, v. 210, 105151, 2024.
- EL YOUSFI, Y. *et al.* Pollution Vulnerability of the Ghiss-Nekkor Alluvial Aquifer in Al-Hoceima (Morocco) Using the DRASTIC Method. *IJERPH*, v. 20, n. 10, 2023.
- ELMEKNASSI, M. *et al.* A GIS-based approach for geospatial modeling of groundwater vulnerability and pollution risk mapping in Bou-Areg and Gareb aquifers, northeastern Morocco. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 51612-51631, 2021.

- HAGHBIN, M. *et al.* Application of Soft Computing Models for Simulating Nitrate Contamination in Groundwater. *Archives of Computational Methods in Engineering*, v. 28, p. 3569-3591, 2021.
- HAMDI, A.; GHOMARI, F.; BENABDERRAHMANE, A. Assessment of Intrinsic Vulnerability of the Middle Chelif Plain Aquifer (Algeria) Using DRASTIC vs. ActualNitratePollution. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, v. 10, n. 1, p. 3360-3371, 2024.
- HILAL, I. *et al.* Groundwater Vulnerability Mapping Using the Susceptibility Index (SI) Method and Tritium Isotopes: A Case Study of the Gharb Aquifer in Northwestern Morocco. *E3S Web of Conferences*, 2024.
- JAHROMI, M. N. *et al.* Developing a SINTACS-based method to map groundwater multi-pollutant vulnerability using evolutionary algorithms. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 7854-7869, 2021.
- JALALI, R. *et al.* A machine learning framework for spatio-temporal vulnerability mapping of groundwaters to nitrate in a data scarce region in Lenjanat Plain, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, p. 42088-42110, 2024.
- JAMAA, H. *et al.* Assessment of groundwater vulnerability to contamination using the DRASTIC model and GIS functions in Doukkala Plain, Morocco. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 10, p. 1-17, 2024.
- JANG, C. S. Geostatistical estimates of groundwater nitrate-nitrogen concentrations with spatial auxiliary information on DRASTIC-LU-based aquifer contamination vulnerability. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, p. 81113-81130, 2023.
- JANG, W. S. *et al.* Integrated environmental modeling for efficient aquifer vulnerability assessment using machine learning. *Environmental Modelling & Software*, v. 124, 104602, 2020.
- JEYAKUMAR, R. *et al.* Improving groundwater vulnerability assessment in structurally controlled hard rock aquifer systems using modified DRASTIC models. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 10, p. 1-19, 2024.
- JOHNSON, H. *et al.* Evaluating Groundwater Nitrate Status across the River Ythan Catchment (Scotland) following Two Decades of Nitrate Vulnerable Zone Designation. *Environments*, v. 10, n. 67, 2023.
- KAZAKIS, M. *et al.* A novel hybrid method of specific vulnerability to anthropogenic pollution in karst aquifers. *Science of The Total Environment*, v. 912, 169524, 2024.
- KOLLI, S. R. *et al.* Vulnerability of groundwater from elevated nitrate pollution across India: Insights from high-resolution national-scale modeling. *Science of The Total Environment*, v. 921, 171120, 2024.

- LI, X. *et al.* Recent advances in groundwater pollution research using machine learning from 2000 to 2023: a bibliometric analysis. *Environmental Research*, v. 267, 120683, 2025.
- LI, Z. *et al.* Intrinsic Vulnerability Evaluation of Groundwater Nitrate Pollution Based on the Improved DRASTIC Model. *Water*, v. 13, n. 11, 1584, 2021.
- MATZARI, K. *et al.* Hydrogeological and hydrochemical regime evaluation in Flamouria basin in Edessa (Northern Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, v. 57, 2021.
- MISSAOUI, R. *et al.* Assessment of Groundwater Vulnerability to Nitrate Contamination Using an Improved Model in the Regueb Basin, Central Tunisia. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 233, n. 320, 2022.
- MODI, M. A.; SHRIMALI, N. J. DRASTIC-FS Model for Assessment of Groundwater Vulnerability. *Journal of the Geological Society of India*, v. 100, n. 6, p. 852-862, 2024.
- MOUSSA, M. *et al.* Tracing water perturbation using NO_3^- , DOC, particles size determination, and bacteria in a karst aquifer. *Environmental Earth Sciences*, v. 80, 520, 2021.
- NASIR, M. J. *et al.* Groundwater quality assessment and its vulnerability to pollution: a study of district Nowshera, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Environ Monit Assess*, v. 194, n. 692, 2022.
- NISTOR, M. M. Groundwater vulnerability in Europe under climate change. *Quaternary International*, v. 547, p. 185-196, 2020.
- PAL, S. C. *et al.* Application of data-mining technique and hydro-chemical data for evaluating vulnerability of groundwater in Indo-Gangetic Plain. *Journal of Environmental Management*, v. 318, 115582, 2022.
- POURBALIGHY, M. *et al.* Efficiency of DRASTIC, GODS and TOPEFMEA models in assessing the vulnerability of the Aisin aquifer to nitrate. *Environmental Engineering and Management Journal*, v. 22, n. 9, p. 1557-1570, 2023.
- PUTTHIVIDHYA, A. *et al.* Environmental impact of irrigation to groundwater contamination and aquifer vulnerability from intensive agricultural practices in Thailand. *Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress, Japan*, 2020.
- RAFIK, A. *et al.* A Multi-Tool 3D Conceptual Model to Elucidate Groundwater Processes. *Earth Systems and Environment*, v. 7, p. 781-800, 2023.
- RAMAKRISHNA, M. *et al.* Nitrate contamination in groundwater and its health implications in a semi-urban region of Anantapur district, South India. *Discover Water*, v. 4, n. 44, 2024.
- SINNASAMY, S. K. *et al.* Landform sedimentary contributed to groundwater nitrate vulnerability in the tropical environment of Kelantan, Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, p. 110-130, 2024.

- VISSER, A.-N. *et al.* Fate of nitrate during groundwater recharge in a fractured karst aquifer in Southwest Germany. *Hydrogeology Journal*, v. 29, p. 1153–1171, 2021.
- WANG, T. *et al.* Groundwater Nitrate Contamination in Arid Areas of Haidong, China: Evaluation of Its Distribution, Sources, and Health Risks. *Water*, v. 16, n. 121, 2024.
- YANG, P. *et al.* Nitrate sources and biogeochemical processes in karst underground rivers impacted by different anthropogenic input characteristic. *Environmental Pollution*, v. 265, 114835, 2020.
- YEBDRI, L. *et al.* Hydrogeochemical characterization and modeling vulnerability assessment using SINTACS methods: the case of the Hennaya aquifer (NW Algeria). *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 10, p. 6839-6858, 2024.
- ZHANG, Q. *et al.* Groundwater contamination risk assessment using a modified DRATICL model and pollution loading: A case study in the Guanzhong Basin of China. *Chemosphere*, v. 291, 132695, 2022.
- ZHAO, Z. *et al.* Effect and genesis of soil nitrogen loading and hydrogeological conditions on the distribution of shallow groundwater nitrate in the northern China plain. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 263, 104339, 2024.