



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01
de dezembro 2023

Sistemas de tratamento de água em um município da Região Norte: um diagnóstico estratégico

Márcio de Lima Araújo

Mestrando em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ângelo Cassio Bezerra Nascimento

Mestrando em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gilvan Vieira Moura

Mestrando em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Isaac Alves Dias

Mestrando em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Regina Negri Pagani

Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Com a expansão urbana e o conseqüente aumento da poluição, surge a necessidade de empregar métodos avançados de tratamento de água para garantir a potabilidade. O presente artigo aborda a questão crítica da degradação da qualidade da água e as metodologias contemporâneas para seu tratamento. Para alcançar este objetivo, foi realizada uma revisão de literatura. Inicialmente, o texto detalha o processo de tratamento convencional, destacando etapas como coagulação, floculação, decantação e filtração. Entretanto, devido à presença de poluentes diversificados, incluindo compostos inorgânicos, orgânicos, microrganismos patogênicos e radionuclídeos, as técnicas tradicionais muitas vezes mostram-se insuficientes. Dessa forma, o foco se volta para as tecnologias de tratamento baseadas em membranas, como microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR). Essas técnicas têm ganhado destaque por sua alta eficiência e capacidade de reter impurezas, patógenos e poluentes. Contudo, também é discutida a necessidade de etapas de pré-tratamento, visando otimizar o uso e a vida útil das membranas. Como resultado, o artigo enfatiza a importância da inovação nas técnicas de tratamento de água para enfrentar os desafios emergentes relacionados à poluição hídrica.

Palavras-chave: Tratamento de água, Poluição hídrica, Tecnologia de membrana, Microfiltração.

Water treatment systems in a municipality in the north of Brazil: a strategic diagnosis

Abstract: This article addresses the critical issue of water quality degradation and contemporary methodologies for its treatment. With the rise of urban expansion and increased pollution, there is a pressing need for advanced water treatment methods to ensure potability. While conventional treatment processes such as coagulation, flocculation, sedimentation, and filtration are elaborated upon, their limitations in handling diverse pollutants, including inorganic and organic compounds, pathogenic microorganisms, and radionuclides, are highlighted. Consequently, the emphasis shifts to membrane-based treatment technologies like microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF), and reverse osmosis (RO), noted for their superior efficiency in removing contaminants. The article also underscores the significance of pre-treatment stages to optimize membrane lifespan and performance. In conclusion, the paper underscores the need for innovative water treatment techniques to meet the emerging challenges of water pollution.

Keywords: Water treatment, Water pollution, Membrane technology, Microfiltration.

1. Introdução

A degradação da qualidade da água devido a diversas formas de poluição tem levado a custos mais elevados (tanto financeiros como ambientais) no tratamento da água. Portanto, a gestão da água é um desafio significativo na administração das cidades em crescimento. Os sistemas urbanos de água (SAU) são complexos, pois são compostos por muitos componentes que muitas vezes são geridos separadamente (captação de água bruta, produção e distribuição de água potável, utilização de água, recolha e tratamento de águas residuais, etc.) (Loubet H. et al, 2014).

O tratamento da água é essencial para uma ampla gama de atividades econômicas e tarefas do dia a dia. Portanto, a água destinada ao consumo deve passar por um processo de tratamento composto por várias etapas cuidadosamente supervisionadas para assegurar sua qualidade.

Em uma análise infraestrutural da região norte do Brasil, identifica-se uma cidade particularmente notável por seu desenvolvido sistema hídrico. Este sistema engloba vinte e quatro poços tubulares profundos e onze estações de tratamento, estrategicamente localizadas para otimizar o processo de distribuição hídrica à sua crescente demografia. Com uma capacidade de armazenamento impressionante, que alcança até 13.984 m³, esta infraestrutura demonstra sua aptidão em atender às demandas contemporâneas.

A metodologia implementada para o tratamento e distribuição da água é segmentada em etapas criteriosas: inicia-se com a captação, segue-se pela adução, fluoretação, culminando nas fases de desinfecção, reserva e distribuição central. Para este mecanismo está o manancial subterrâneo. Os aquíferos sedimentares, especificamente vinculados às formações Simbaíba e Mutuca, constituem a fonte primária desse recurso hídrico. Caracterizados por uma densa composição de sedimentos arenosos, esses aquíferos exibem uma capacidade propícia para armazenamento hídrico em seus poros, indicando um potencial significativo de aproveitamento de recursos hídricos subterrâneos.

A proveniência da água subterrânea é um aspecto crucial. Oriunda de precipitações, essa água percorre uma trajetória subterrânea, infiltrando-se nas rochas sedimentares. Neste percurso, ocorre um processo intrínseco de filtração e purificação, produzindo um recurso hídrico de elevada qualidade. Adicionalmente, vale destacar a relevância ecológica dessas reservas: elas são instrumentais na manutenção do equilíbrio hidrológico, assegurando a umidade do solo e influenciando diretamente a dinâmica de rios, lagos e zonas úmidas, elementos fundamentais para a preservação da biodiversidade regional (Brkambiental, 2020).

Mas, ainda que muitas águas subterrâneas se enquadrem, segunda a legislação brasileira, em corpos d'água que requerem apenas tratamento simplificado, a crescente demanda

populacional, degradação ambiental e desenvolvimento de tecnologias, surge a necessidade de avaliação constando em busca do aprimoramento para atendimento de demandas para o melhor abastecimento público. Deste modo este trabalho analisa um sistema de tratamento e indica tecnologias para melhorar a qualidade da água tratada.

2. Materiais e Métodos

Este estudo foi baseado na análise de dados do funcionamento do sistema de tratamento de uma cidade da região norte do Brasil. Os dados coletados foram fornecidos pela empresa gerenciadora do sistema, cuja água é captada a partir de uma fonte subterrânea.

O presente estudo utilizou-se de uma revisão sistemática da literatura. Na construção do corpus de pesquisa foi utilizado o Methodi Ordinatio (Pagani et al., 2022; Pagani; Kovaleski; Resende, 2015). A aplicação aconteceu em nove etapas:

- Etapa 1 - Estabelecimento da intenção de pesquisa - nesta etapa foram identificados os descritores e as combinações mais adequadas para responder a pergunta: Quais são as tecnologias mais recentes destacadas na literatura como utilizadas para o tratamento de água para abastecimento?
- Etapa 2 - Pesquisa exploratória com os descritores nas bases de dados - os descritores e as combinações identificados na etapa 1 foram testadas nas bases Scopus e Science Direct. Na etapa foi utilizado o software Mendeley para a remoção de artigos duplicados.
- Etapa 3 - Definição da combinação de descritores e bases de dados a serem utilizadas - as bases testadas na Etapa 2 foram aprovadas por apresentarem volume significativo de publicações com os descritores pesquisados e apresentarem disponibilidade ampla de acesso aos materiais publicados. Foi definida para a pesquisa a combinação ("water treatment technologies") AND ("water management" OR "treatment tank") NOT "lake" NOT "reservoir". O período considerado na busca foi de 10 anos (entre 01/01/2014 e 31/12/2023).
- Etapa 4 - Pesquisa definitiva nas bases de dados - a pesquisa resultou em um total bruto de 68 artigos (Science Direct - n=49; Scopus – n=19). O resultado foi considerado satisfatório, não havendo a necessidade da ampliação de bases. Foi utilizado o software Mendeley como gerenciador das referências para a coleta e armazenamento dos dados.
- Etapa 5 - Procedimentos de filtragem - nesta etapa foram verificados os trabalhos duplicados, apresentados em conferências que não possuem fator de impacto, livros ou capítulos de livros e cujo título não apresentava aderência com o tema do presente estudo. Na etapa foram utilizados, em sequência, os softwares Mendeley e JabRef para a construção do portfólio. Após a aplicação dos procedimentos de filtragem, chegou-se a 67 artigos.
- Etapa 6 - Identificação do fator de impacto, do ano de publicação e número de citações - com o uso da planilha RankIn, disponibilizada pelos autores do Methodi Ordinatio, foi identificado o fator de impacto das publicações (last year JCR ou SJR). O número de citações foi levantado no Google Scholar (<http://scholar.google.com>) em 03 de agosto de 2023, a partir dos links disponibilizados na planilha RankIn.
- Etapa 7 - Ordenação dos artigos por meio do InOrdinatio - a ordenação dos estudos levantados aconteceu com o uso da equação InOrdinatio (Pagani, Kovaleski, & Resende, 2015):

$$\text{InOrdinatio} = (F_i / 1000) + (\alpha^*(10 - (\text{AnoPesq} - \text{AnoPub}))) + (\sum C_i)$$

Onde: F_i = Fator de impacto da revista; α^* = coeficiente atribuído pelo pesquisador à relevância do ano de publicação, podendo variar de 1 a 10; AnoPesq – Ano de realização

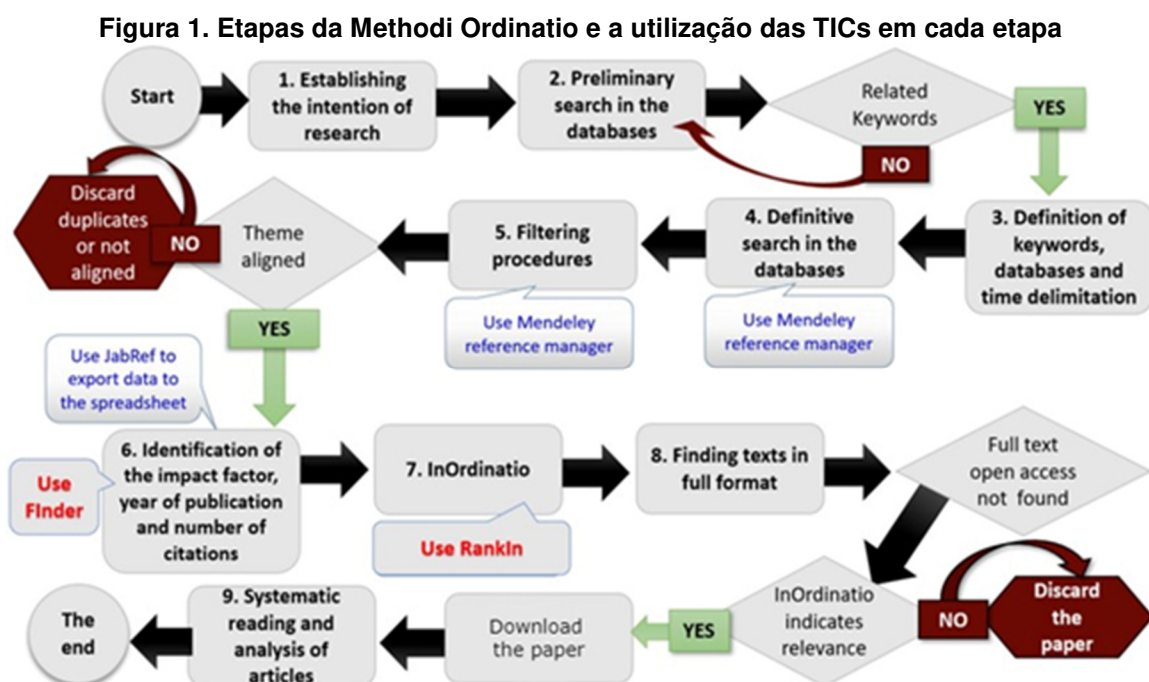
da busca nas bases de dados; AnoPub = ano de publicação do artigo; $\sum Ci$ = nº de citações do artigo.

Na pesquisa, o valor atribuído a α foi 10, considerando que a atualidade dos artigos é primordial.

· Etapa 8 - Localização dos artigos em formato integral - localização dos trabalhos foi feita diretamente no site da revista através do Portal de Periódicos da CAPES, com o acesso CAFe.

· Etapa 9 - Leitura e análise sistemática dos artigos - esta etapa foi realizada a leitura dos artigos selecionados. Foram excluídos, após a leitura, os artigos que não proporcionaram elementos para responder a pergunta de pesquisa. Para evitar saturação, a composição do corpus documental foi limitada em até 31 artigos com resultados positivos na equação InOrdinatio.

As etapas, de forma sinóptica, estão representadas na Figura 1.



Fonte: Pagani et al. (2022).

3. Tratamento de convencional de água

Existem vários tipos de tratamento de água, cada um com suas próprias técnicas e objetivos específicos. Alguns dos principais tipos de tratamento de água podem envolver: Pré-tratamento (remoção impurezas grosseiras), Coagulação e Floculação (adição de produtos químicos para aglomerar partículas suspensas e formar flocos e facilitar a remoção de partículas coloidais e sólidas), Sedimentação (acúmulo de sedimento no fundo de tanques de sedimentação após o processo de formação de flocos), Filtração (passagem da água por camadas de areia, carvão ativado ou membranas para remover partículas finas, bactérias e vírus, promovendo a purificação dessa água), Desinfecção (Adição de desinfetantes, como cloro, ozônio ou UV, para matar microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários), Adsorção (Uso de carvão ativado granular (GAC) ou remover íons, sais dissolvidos e materiais orgânicos), Desmineralização (remoção seletiva de minerais indesejados, como íons de cálcio e magnésio, através de processos de troca iônica ou osmose reversa), Ajuste de pH (correção do pH da água para atender aos requisitos de distribuição e evitar corrosão ou incrustações em tubulações), Adsorventes

para remover produtos químicos orgânicos, sabores e odores da água) e/ou Osmose Reversa (passagem da água através de uma membrana semipermeável para purificação).

3.1 Novas tecnologias disponíveis para o tratamento de água

Para conseguirmos água potável para consumo, é preciso submeter a água bruta, captada em manancial, a uma série de processos de tratamento que removem partículas finas em suspensão e solução (CORDEIRO, 1999). São aplicados produtos químicos que provocam a desestabilização das partículas, propiciando a geração de flocos, que posteriormente deverão ser removidos tornando a água mais clara. As etapas do processo de tratamento convencional da água são: coagulação, floculação, decantação e filtração. Nas etapas de decantação e filtração é onde o lodo de ETA é formado, ficando retido como lodo decantado e flotado, e ainda nas águas de lavagem dos filtros. Estes devem ser removidos periodicamente para que o tratamento de água bruta seja feito de forma eficiente e que cumpra com os requisitos de potabilidade. (RICHTER, 2001).

No entanto, com tecnologias em crescimento, o aumento da população e a poluição ambiental levam a uma contaminação severa da água e exigem tecnologias avançadas de tratamento de água. Esses aspectos levam à necessidade de purificar a água com materiais inteligentes avançados (HOMOCIANU; PASCARIU, 2022).

Segundo Khan et al. (2022) uma variedade de poluentes atualmente encontrados em fontes de água e efluentes são divididos em cinco grandes categorias: principalmente inorgânicos, incluindo metais pesados, e outros compostos poliatômicos; compostos orgânicos como corantes, herbicidas, produtos farmacêuticos e produtos de higiene pessoal (PPCPs) poluentes, microrganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus e protozoários; radionuclídeos como radônio, rádio ou urânio.

Diante dessa demanda, Shankara, A. H., et al (2019), informa que vários tipos de técnicas tradicionais de tratamento de água, como adsorção, filtração, e coagulação são extensivamente explorados, embora a maioria desses métodos sejam insuficientes para o tratamento eficiente da água.

Para lidar com esta questão, do tratamento sofisticado de água e águas residuais, é necessária tecnologia. As tecnologias de tratamento de água baseadas em membranas estão substituindo rapidamente o tratamento tradicional de água e águas residuais devido à sua alta eficiência e baixo preço, e podem remediar poluentes microbianos e químicos de uma variedade de fontes aquáticas.

O tratamento de água através de membranas é uma técnica eficaz para remover impurezas, sólidos suspensos, patógenos e muitos poluentes da água. Segundo Siyal et al., (2019) as tecnologias, recentes, aplicadas e estudadas, para tratamento de águas utilizando membranas de microfiltração (MF), usada para reter partículas maiores, como bactérias e alguns protozoários, comumente aplicada na indústria de alimentos e bebidas e no tratamento de águas residuais; Ultrafiltração (UF), utiliza membranas porosas que têm poros suficientemente pequenos para reter partículas, bactérias e alguns vírus. É eficaz na remoção de sólidos suspensos, turbidez e microrganismos, tornando a água mais segura e clara. Comumente utilizada para tratamento de água para consumo humano; Nanofiltração (NF), utiliza membranas porosas que têm poros suficientemente pequenos para reter partículas, bactérias e alguns vírus. É eficaz na remoção de sólidos suspensos, turbidez e microrganismos, tornando a água mais segura e clara. Comumente utilizada para tratamento de água para consumo humano; e a Osmose Reversa (OR), usada para reter íons de tamanho médio, como íons de cálcio e magnésio, e algumas matérias orgânicas. É frequentemente usada para amolecimento de água e remoção de íons metálicos, utiliza membranas semipermeáveis para remover íons, sais dissolvidos e até mesmo moléculas

orgânicas. É um método eficaz para dessalinização de água do mar e produção de água potável de alta qualidade.

Por vezes, várias técnicas de membranas são combinadas em sistemas híbridos para atender a requisitos específicos de tratamento de água, como a combinação de UF e RO para dessalinização.

4. Resultados e Discussões

O sistema de captação e tratamento de água da cidade objeto deste estudo, conta com poços tubulares profundos em operação e onze estações de tratamento. A água tratada é armazenada em reservatórios localizados em pontos estratégicos para facilitar o tratamento e a distribuição. A capacidade de acumular é de até 13.984 m³ de água. A água de cada poço é misturada nas estações de tratamento, nos reservatórios ou sistemas de distribuição através de interligações. O sistema passa pelas seguintes fases: captação, adução, fluoretação, desinfecção, reservação e distribuição. O manancial é subterrâneo, pertencente ao aquífero tipo sedimentar e representado localmente pelas Formações Sambaíba e Mutuca. Esses aquíferos apresentam sedimentos arenosos capazes de armazenar água em seus poros, constituindo-se de grande potencial de água subterrânea. Águas subterrâneas são as águas das chuvas que vão para o subsolo preenchendo os espaços das rochas sedimentares. Elas são filtradas naturalmente. Essas águas desempenham um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos.

A seguir tem-se um quadro apontando características de cada estação componente do sistema de abastecimento da cidade:

Tabela 1 – Descrição dos sistemas de tratamento

Unidade de tratamento de Água Subterrânea (UTS)	Etapa de Filtração na unidade	Capacidade de produção (m³/dia)	Percentual
UTS 001	Sim	7.373	21,67%
UTS 002	Não	12.923,6	26,67%
UTS 003	Não	4.952,4	11,32%
UTS 004	Não	4.503,2	10,06%
UTS 005	Não	2.487,5	14,23%
UTS 006	Não	4.670,9	8,04%
UTS 007	Não	177,4	0,37%
UTS 008	Não	56,4	11,9%
UTS 009	Não	3.113,2	6,44%
UTS 010	Não	128,4	0,32%
UTS 011	Não	23,6	0,78%

Fonte: Adaptado de Brkambiental (2019)

Pode-se inferir dos dados que, ao longo do sistema componente do sistema de tratamento, apenas a UTS 001 conta com a etapa de Filtração, já que a legislação não exige um tratamento mais complexo para a classificação da água captada em questão.

De acordo com a AWWA (2011) a seleção da tecnologia mais adequada a ser utilizada no tratamento de água de uma determinada fonte depende de vários fatores, incluindo características da água bruta, tipo de fonte (lótica ou lântica), custos de implantação, manutenção e operação, gestão e confiabilidade dos equipamentos, flexibilidade operacional, localização geográfica e características da comunidade, disposição final de

lodo e outros. No entanto, para Melo et al., (2019), a seleção da tecnologia de tratamento deve basear-se em outros fatores além da qualidade da água bruta. Em seu estudo sobre avaliação de desempenho de estações de tratamento de água de grande porte e verificação da adequação do tratamento ao parâmetro turbidez das águas naturais os resultados apontaram que a análise de agrupamento foi capaz de diferenciar adequadamente grupos de estações de tratamento com qualidade semelhante de água bruta e tratada. Quanto à turbidez do efluente como parâmetro marcador, os resultados indicaram que a seleção da tecnologia a ser aplicada deve ser bem estudada para buscar sempre a melhor solução, e que outros fatores além das características da água bruta devem ser avaliados.

A tecnologia de membranas desempenha um papel importante no tratamento de água devido às suas características interessantes, fácil operação, sem adição de aditivos químicos (ou menos), economia, sem mudança de fase, alta produtividade e boa capacidade de remoção. Normalmente, uma membrana é um sistema que consiste em uma barreira que permite seletivamente a passagem de materiais desejados e a retenção de materiais indesejados na superfície da membrana (Mezher et al., 2011).

Em estudos de sistemas utilizadores de membranas Ng et al., (2018) sugere, com o intuito de aumentar a vida útil das membranas filtrantes e melhorar a qualidade da água, uma etapa de pré-tratamento para remover grandes partículas antes da unidade de filtração por membrana. Uma etapa de pré-tratamento utilizando filtração de areia é normalmente sugerida devido à sua eficácia na remoção de grandes partículas e por ter um custo relativamente baixo (LIN et al., 2003). A seleção das combinações de módulos de membrana (entre microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) pode promover a eficiência do sistema, já que, segundo Park et al., (2012), sólidos dissolvidos e poluentes são removidos de forma mais eficiente pelo RO, enquanto a microfiltração (MF) e a ultrafiltração (UF) são empregadas em grande parte para remover sólidos em suspensão e partículas grandes da água. Os benefícios da RO incluem o baixo custo por litro de água do produto, um tamanho compacto, design modular e a possibilidade de gerenciamento de processo totalmente autônomo.

5. Conclusões

Em face da crescente degradação ambiental observada em nossa conjuntura atual, é imperativo que a pesquisa e os estudos avancem na direção de estabelecer padrões mais rigorosos de potabilidade da água. Tais padrões devem ir além das simples normativas preconizadas pela legislação brasileira, almejando garantir um fornecimento de água de excelência à população.

A análise do sistema de tratamento de água da cidade em questão revela uma lacuna preocupante: a ausência de processos de filtração em pontos críticos do sistema. Esta deficiência pode comprometer a qualidade do recurso hídrico entregue à população.

Dentro desse contexto, propõe-se uma intervenção técnica: a implementação de membranas de ultrafiltração ao longo do sistema de tratamento. Essa tecnologia, quando aliada a um eficiente pré-tratamento focado na redução de sólidos em suspensão, não só aprimora a qualidade da água, como também assegura a extensão da vida útil das referidas membranas. Esta recomendação, portanto, não apenas atende aos imperativos de qualidade, mas também considera aspectos de sustentabilidade e eficiência operacional. Em conclusão, visando o bem-estar da população e a preservação ambiental, é crucial que os sistemas de tratamento de água se adaptem e incorporem inovações tecnológicas alinhadas aos padrões de potabilidade emergentes no cenário global.

Este trabalho apresenta limitações relacionadas à extensão das bases de dados investigadas, concentrando-se exclusivamente na análise de estudos que abordam simultaneamente os dois temas em questão. Para pesquisas futuras, recomendamos a

expansão da busca para incluir outras bases de dados relevantes, bem como a consideração de trabalhos que abordem esses temas em contextos distintos, não se restringindo apenas à análise dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos. Dessa forma, será possível obter uma compreensão mais abrangente e aprofundada dos sistemas de tratamento de água, contribuindo para um diagnóstico estratégico mais completo e informado.

Agradecimentos

Agradecemos o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES), o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), o Instituto Federal do Tocantins (IFTO), e a UTFPR pelo apoio na realização do trabalho.

Referências

- CORDEIRO, J.S.; CAMPOS, J.R. O Impacto Ambiental Provocado pela Indústria da Água. **Revista Saneamento Ambiental**, São Paulo, n. 56, mar/abr, 1999.
- EDZWALD, J. **Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water**. 6. ed. New York: American Water Works Association, 2011.
- HOMOCIANU M.; PASCARIU P. High-performance photocatalytic membranes for water purification in relation to environmental and operational parameters. **J. Environ. Manag.** 311, 2022.
- KHAN, S.A.; JAIN M.; PANDEY, A.; PANT, K.K.; ZIORA Z.M.; BLASKOVICH, M.A.; SHETTI, N.P.; AMINABHAVI, T.M. Leveraging the potential of silver nanoparticles-based materials towards sustainable water treatment. **J. Environ. Manag.**, 11 jul. 2022.
- LIN, Y. F., JING, S. R., LEE, D. Y. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. **Environmental Pollution**. Volume 123, Issue 1, P. 107-113, 2003.
- LOUBET, P.; Roux, P.; LOISEAU, E.; BELLON-MAUREL, V. Life cycle assessments of urban water systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. **Water Research**. Volume 67, 2014. Pages 187-202.
- MEZHER, T., FATH, H., ABBAS, Z., & KHALED, A. Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. **Desalination**, 266(1-3), P. 263–273. 2011.
- MELO, L.D.V., DA COSTA, E.P., PINTO, C.C. et al. Adequacy analysis of drinking water treatment technologies in regard to the parameter turbidity, considering the quality of natural waters treated by large-scale WTPs in Brazil. **Environ Monit Assess** 191, 384 2019.
- NG, L. Y.; NG C. Y.; MAHMOUDI E.; ONG C. B.; MOHAMMAD A. W. A review of the management of inflow water, wastewater and water reuse by membrane technology for a sustainable production in shrimp farming. **Journal of Water Process Engineering**. Vol. 23, Pages 27-44, 2018.
- OMS, Organização Mundial De Saúde. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Volume 1, Geneva, SW. 494p. 2004.
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; & RESENDE, L. M. M. Methodi Ordinatio: A proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, 105(3), 2109-2135. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>

PAGANI, R. N., PEDROSO, B., DOS SANTOS, C. B.; PICININ, C. T., & KOVALESKI, J. L. Methodi Ordinatio 2.0: revisited under statistical estimation, and presenting Flinder and RankIn. **Quality & Quantity**, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11135-022-01562-y>

PARK P.K., LEE, S.; CHO J.S.; KIM, J.H. Full-scale simulation of seawater reverse osmosis desalination processes for boron removal: effect of membrane fouling. **Water Research.**, p. 46, 2012.

RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água, Ed. **Edgard Blucher Ltda.**, S. Paulo 2001.

SHANKARA, A. H. et al. Catalysis interfaced multifunctional membranes for sustainable treatment of water and wastewater. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, Volume 19, 2023.