

Reúso de Água Residuária Industrial Tratada: uma Revisão de Literatura

**Rodolfo Luiz Tercetti (Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí)**
rodolfotercetti@hotmail.com

Letícia Bettoni Siqueira (Universidade Federal de Lavras)
leticialbs@hotmail.com

José Augusto Oliveira (Universidade Federal de Lavras)
augusto.oliveira@outlook.com

Izadora Ribeiro e Garcia de Oliveira (Universidade Federal de Lavras)
izadora_rgo@hotmail.com

Érica Suélen do Nascimento (Universidade Federal de Lavras)
eericasn@gmail.com

Há muito tempo existe a discussão sobre a importância e a manutenção da água para a existência da humanidade. O consumo de água utilizada para fins industriais, principalmente em países em desenvolvimento, aumentou consideravelmente nas últimas décadas. Juntamente com esse consumo, a poluição de mananciais também teve um aumento considerável, visto que, as indústrias geralmente desgarregam seus esgotos perigosos sem o devido tratamento. Tal fato desencadeia que práticas sustentáveis sejam implementadas nas indústrias, principalmente naquelas que contribuem excessivamente para a degradação ambiental. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar na literatura, através de uma revisão sistemática, o contexto do reúso de águas industriais, identificando os principais resultados encontrados nos artigos da frente de pesquisa. Os resultados mostram que é substancial a inserção de novas tecnologias nas indústrias para que possam realizar o reúso de águas residuárias tratadas, pois essas práticas contribuem para a redução da vulnerabilidade relacionada ao estresse e escassez hídrica e ainda reduz o grande volume de água industrial utilizada que é descartada no meio ambiente.

Palavras-chave: Reúso, Água residuária Industrial, Desenvolvimento Sustentável.



1. Introdução

O Brasil possui grande potencial de água continental, distribuídos em uma das mais extensas e densas redes hidrográficas do mundo. Ainda assim, uma análise mais detalhada da condição brasileira demonstra um cenário de escassez não somente em áreas de climatologia desfavorável, mas também em regiões urbanizadas. Isso acontece porque os recursos hídricos não são distribuídos homogeneamente pelo país, devido a sua ampla extensão, o que ocasiona condições climáticas diferentes, afetando suas características naturais (FLÖRKE et al., 2013).

Nota-se que o emprego da água na indústria é alto em todo o mundo, e, pode dar-se de inúmeras maneiras, sendo que a intensidade do uso da água no setor industrial depende de vários fatores, dentre eles: o tipo de processo e de produtos, a tecnologia utilizada, as boas práticas e a maturidade da gestão (ANA, 2021). A água na indústria pode ser utilizada diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporada aos produtos; lavagens de máquinas, tubulações e pisos; águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor (HESPANHOL, 2002). Com isso, nota-se uma tendência das indústrias em atentar-se com relação ao grande consumo de água, implementando estratégias que visam minimizar esta demanda, buscando sustentabilidade, e diminuição nos gastos com a demanda de água.

Cardoso et al. (2020) aborda como vantagens do reúso dos recursos hídricos a preservação da água potável; redução do lançamento de efluentes diretos no meio ambiente, proporcionando o uso sustentável e menor agressão aos mananciais. Além disso, o reúso da água residuária tratada pode levar a estimulação do uso sustentável de efluentes, diminuindo o consumo para uso industrial e no custo para empresa, e ainda, oferecer visão sustentável para outras empresas e indústrias (CARDOSO et al., 2020).

Outra vantagem da aplicação do sistema de reúso é em relação a sua funcionalidade, que é simples e eficaz, além de propiciar o uso por um grande período de tempo e com custo de manutenção reduzido (CARDOSO et al., 2020). Com base nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar na literatura, através de uma revisão sistemática, o contexto do reúso de águas industriais, identificando os principais resultados encontrados nos artigos da frente de pesquisa.

Em termos gerenciais, é importante destacar que a reutilização de águas residuárias tratadas é uma oportunidade de fortalecer o posicionamento e a cultura das empresas em práticas sustentáveis, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável. A indústria é um dos principais setores que consomem água no mundo todo, de acordo com dados da FAO (2020) cerca de 20% da água é destinada ao uso industrial, já a atividade industrial no Brasil é

responsável por 9,7% do consumo nacional de água (ANA, 2021). Dessa forma, acredita-se que aplicando o reúso de águas residuárias pode contribuir para a redução da vulnerabilidade relacionada ao estresse e escassez hídrica (FLÖRKE et al., 2013).

Em termos teóricos esse trabalho pode gerar *insights* para as indústrias poderem adotar a prática do reúso, pois segundo Demadis et al. (2007) é a única opção, juntamente com a reciclagem da água, para reduzir o grande volume de água utilizada descartada no meio ambiente. Além disso, a presente pesquisa irá auxiliar a academia a alavancar mais estudos sobre esse tema, visto que, o tratamento, reciclagem e reutilização de águas industriais são um tema extremamente importante nos dias atuais e a poluição das águas residuais industriais para a saúde humana e todo o ambiente ecológico tem atraído a atenção de todas as esferas da vida (MU et al., 2020).

2. Referencial Teórico

Há décadas existe a discussão sobre a importância e manutenção da água para a existência da humanidade. Segundo Butts (1997) apenas 0,36% da água do mundo de rios, lagos e pântanos pode ser considerada fonte renovável de recurso hídrico, ou seja, a maioria da água doce mundial, ideal para consumo humano e industrial, não possui fonte para substituição. Além disso, o crescimento populacional constante, juntamente com mudanças nas condições climáticas e o desequilíbrio da oferta e demanda de recursos hídricos, pode ocasionar várias tensões entre as comunidades e ainda se tornar uma variável determinante de um possível conflito internacional no futuro (BUTTS, 1997).

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO (2020), a atividade que mais consome água no mundo é a agropecuária. Esse setor é responsável por 70% da água utilizada pelo ser humano, seguido pela indústria, com 20%, e, por último, o uso doméstico, com 8%. No Brasil a irrigação representa o principal tipo de uso em termos de quantidade utilizada. Na sequência, vêm abastecimento humano (24,3%), indústria (9,7%), animal (8,4%), termelétricas (4,5%), abastecimento rural (1,6%) e mineração (1,7%). Apesar do consumo de água industrial ocupar o terceiro lugar no *ranking* brasileiro, se faz necessário incentivar atividades que buscam racionalizar a utilização de água nos processos industriais e conseqüentemente evitar a escassez desse recurso a longo prazo (OLIVO E ISHIKI, 2014).

Para Flörke et al. (2013) o consumo de água utilizada para fins industriais, principalmente em países em desenvolvimento, aumentou consideravelmente nas últimas

décadas e assim como a produção industrial, a população cresceu muito mais rápido do que o desenvolvimento da infraestrutura. Os autores ainda afirmam que juntamente com o aumento do consumo de água destinada ao uso industrial, o volume de águas residuárias também cresceu e grande parcela não foi tratada como se deveria, gerando assim alto risco para saúde humana e para os ecossistemas.

Além do alto consumo de água empregado nas atividades em indústrias e o aumento de águas residuárias provenientes desses processos não tratadas lançadas no meio ambiente, as mudanças climáticas representam grandes desafios para o planejamento e políticas de gestão dos setores industriais nacionais (CAMIOTO; MARIANO e REBELATTO, 2014). As alterações climáticas mundiais juntamente com a poluição atmosférica podem ter um impacto sobre os recursos de água doce e sua disponibilidade (CUNHA et al., 2011). Sendo assim, fomentar o desenvolvimento sustentável é substancial para manutenção da vida e para a garantia de boas condições para a sociedade se sustentar no futuro.

É importante que práticas sustentáveis sejam implementadas em todas as indústrias, principalmente naquelas que contribuem excessivamente para a degradação ambiental. Para que isso possa acontecer, a ciência e a tecnologia são reconhecidas como componentes essenciais nas estratégias que promovem o desenvolvimento sustentável (CASH et al., 2003). Ainda para os autores, o esforço individual de cada indústria pode contribuir para a sustentabilidade, mas para que se consiga resultados mais abrangentes e a longo prazo, é necessário um diálogo entre especialistas e tomadores de decisão envolvidos em programas de ação para a sustentabilidade.

Fazer o gerenciamento do consumo de água, seja ele na agricultura, na indústria ou nas residências, e promover práticas sustentáveis se faz importante para não comprometer as próximas gerações e a qualidade de vida delas. Tal afirmação é comprovada através de dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO (2020):

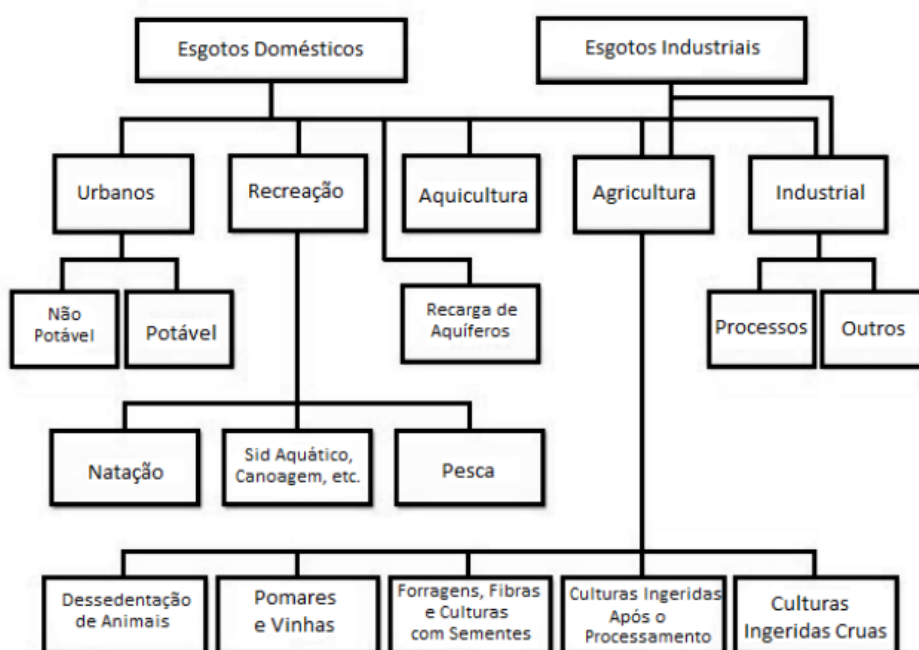
“estima-se que em 2050 haverá água suficiente para a produzir os alimentos necessários para alimentar a população global que se espera que superará os 9 mil milhões de pessoas, mas o consumo excessivo, a degradação e o impacto das alterações climáticas irão reduzir a disponibilidade de água em várias regiões, especialmente em países em desenvolvimento”.

Além do volume da água utilizada em atividades industriais ser alto, os custos elevados associados às demandas crescentes, têm levado as indústrias a avaliarem as possibilidades internas de reúso (HESPANHOL, 2002). A água residuária é o termo que caracteriza os dejetos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, seja no uso doméstico,

comercial ou industrial (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). As águas residuais industriais consistem em uma variedade de descargas com base no tipo de indústria e cada tipo de indústria de manufatura terá um diferente método de tratamento do seu efluente (SONAWANE et al., 2017).

Com vista a buscar soluções para a escassez da água, planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos, procuram novas fontes de recursos para complementar a disponibilidade hídrica disponível. Dessa forma, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reutilizada para fins benéficos diversos, contribuindo assim para o racionamento do recurso e também para o desenvolvimento sustentável (HESPANHOL, 2002). Na Figura 1 encontram-se descritos os tipos básicos de usos potenciais de águas residuárias tratadas, que podem ser implementados, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais (HESPANHOL, 1997).

Figura 1 - Formas potenciais de reúso de água



Fonte: Hespagnol, 1997.

Nota-se que as águas residuárias industriais quando tratadas, podem ser reutilizadas para fins da própria indústria, como é o caso do objeto de estudo desta pesquisa. Essas águas residuárias representam um grande atrativo para abastecimento industrial a custos razoáveis, proporcionando assim um considerável custo-benefício para as indústrias (HESPANHOL,

2002). A água de reúso pode ser utilizada para as seguintes finalidades na indústria, segundo Mancuso e Santos (2003):

- Torres de resfriamento;
- Lavagem de peças e equipamentos;
- Irrigação de áreas verdes;
- Lavagem de pisos e veículos;
- Processo industrial;
- Lavagem de gases da chaminé;
- Uso sanitário;
- Proteção contra incêndios.

3. Metodologia

Nesta seção são detalhados os procedimentos metodológicos que guiarão a construção da presente pesquisa. São apresentadas as *strings* de busca que serão utilizadas para o mapeamento dos artigos que comporão o *corpus* do artigo, assim como são definidos os critérios de seleção, exclusão e análise dos documentos.

Quanto à finalidade, devido o interesse prático na utilização dos conhecimentos, esta pesquisa pode ser caracterizada como uma pesquisa aplicada. Para o alcance de seus objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória. As pesquisas exploratórias buscam desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, formulando questões mais precisas e propondo hipóteses para estudos futuros. Geralmente estas pesquisas envolvem levantamentos bibliográficos e documentais. Em muitas ocasiões as pesquisas exploratórias constituem a primeira etapa de uma investigação mais ampla (GIL, 2019). Em relação à natureza, esta é uma pesquisa qualitativa, favorecendo o processo de síntese, compreensão e formulação dos enfoques teóricos investigados (GODOY, 1995).

Esse artigo será materializado através de um estudo descritivo e exploratório, de abordagem qualitativa e construído a partir de uma revisão sistemática. Para condução do artigo, será utilizado uma adaptação do *framework* de estudos bibliométricos proposto por Prado et al. (2016). Desta forma, três etapas regem os procedimentos metodológicos adotados: operacionalização da pesquisa, procedimentos de busca e análise da produção científica, as quais serão detalhadas a seguir:

Etapa 1 – Operacionalização da pesquisa: A coleção principal da base *Web of*

Science (WoS) será utilizada como banco de dados para realização da pesquisa. A escolha pode ser atribuída a critérios como prestígio, confiabilidade, influência e relevância da base (ALVES; GALINA; DOBELIN, 2018; CUI; LIU; MOU, 2018; PRADO *et al.*, 2016). As buscas foram realizadas em abril de 2021.

Etapa 2 – Procedimentos de busca: A seguinte *string* será utilizada para o mapeamento das evidências científicas na base *Web of Science*:

String 1: TI = "*reuse of industrial waters*" OR "*industrial wastewater treatment*"

Serão aplicados os seguintes filtros para seleção das referências bibliográficas: artigos, publicados em qualquer idioma, nas categorias *environmental sciences, engineering environmental, water resources, green sustainable science technology, ecology* e *environmental studies*.

Etapa 3 – Análise da produção científica: para análise dos dados serão utilizados os softwares *Mendeley* e *Microsoft Excel*. Serão geradas tabelas com o intuito de sistematizar o campo de estudo investigado com o objetivo de organizar, interpretar e sintetizar os resultados evidenciados frente a questão de pesquisa.

4. Resultados

A *string* de busca apresentada na metodologia retornou um total de 134 documentos. Através da leitura flutuante dos resumos de todos artigos foram selecionados os trabalhos que fazem parte do escopo da pesquisa. Sendo assim é apresentada nesta seção uma síntese dos artigos mais relevantes do tema, bem como um quadro dos artigos mais citados pela academia e um quadro das pesquisas mais recentes feitas no âmbito de reúso de águas residuárias industriais.

Segundo Kummu *et al.* (2010) devido à má distribuição geográfica, tanto populacional quanto de bacias hidrográficas, existem problemas de escassez de água para a sociedade. Os autores fizeram uma análise de como a escassez de água global e regional se desenvolveu no último milênio. Os resultados mostraram que a escassez de água em todo mundo começou a apresentar resultados preocupantes a partir de 1900 em diante, onde o nível populacional aumentou consideravelmente e o consumo de água também. Além disso, o estudo de Kummu *et al.* (2010) ainda mostrou que de 1960 a 2005 a escassez de água apresentou os maiores índices, chegando a atingir 2300 milhões de pessoas em 2005, principalmente na África e na Ásia, onde estão localizadas grande parte da população mundial.

Um agravante para a escassez de água no mundo todo é a poluição de mananciais

proveniente de resíduos perigosos, descarga de águas residuais industriais e escoamento agrícola de fertilizantes (CHENG, HU e ZHAO, 2009). Para lidar com a escassez da água, a China como país mais populoso da terra, têm adotado medidas como: investimento do governo na implementação de tecnologias que economizam água para agricultura; técnicas para a conservação, reciclagem e reutilização da água industrial; reformulação dos preços da água para incentivar o uso doméstico de água mais sustentável e dispositivos de economia de água implementados em todas as áreas urbanas do país. O governo chinês está disposto a desenvolver esses novos meios para evitar a escassez de água, pois estima-se que em 2030, a população da China irá atingir seu pico, comprometendo muito a disponibilidade renovável de água doce (CHENG, HU e ZHAO, 2009).

Já no Brasil, apesar de ser um dos países com maior disponibilidade em água doce do planeta, diversas cidades enfrentam crises de abastecimento, e isso chama atenção para implementação de novas técnicas que aumentem a disponibilidade de recursos hídricos para a população com o apoio das esferas políticas de âmbito municipal, estadual e federal (REBOUÇAS, 2003). Para de Menezes Olivo e Ishiki (2014) os fatores que contribuem diretamente para este esgotamento e escassez de água no Brasil, são: os processos ineficientes de irrigação, o desordenado e elevado crescimento da população e o consumo exagerado do setor industrial. É observado gravidade da situação principalmente nas regiões nordeste e sudeste. O Nordeste por apresentar região semiárida e ter problemas na coleta, armazenamento e manejo da água da chuva, já no Sudeste nota-se o crescimento desenfreado das cidades e indústrias que aumentam o consumo de água potável em larga escala (CUNHA et al., 2011).

Segundo o estudo de Kummu et al. (2016) é importante identificar padrões recorrentes de mudança para fornecer evidências dos principais fatores de escassez da água e, assim, ajudar a identificar os problemas e conseqüentemente as soluções. Os autores afirmam que a expansão da escassez de água pode ser explicada pelos efeitos da distribuição espacial do crescimento populacional em relação aos recursos hídricos. Além disso, é essencial analisar o quanto antes o aumento da pressão populacional, a mudança do comportamento de consumo de água e a mudança climática, pois manter o consumo de água em níveis sustentáveis deve se tornar ainda mais difícil no futuro próximo (KUMMU et al., 2016).

O tratamento de resíduos gerados pode comprometer a lucratividade da indústria, por essa razão, é notório que em grande parte das empresas o tratamento de resíduos fica em segundo plano na operação geral ou no processo industrial (RANADE e BHANDARI, 2014). Entretanto, a liberação de águas residuais industriais no meio ambiente pode criar vários

perigos, principalmente as que são oriundas de indústrias químicas e de processos. É, portanto, necessário realizar esforços para reduzir o uso de água destinada para esse fim e ainda tratar as águas residuais para torná-las reutilizáveis ou pelo menos mais seguras para descarte no meio ambiente (RANADE e BHANDARI, 2014).

Para Cunha et al. (2011), reutilizar águas residuárias tratadas é uma atividade mais abrangente, que engloba o uso racional da água, controlando perdas e desperdícios, e promovendo ainda a minimização da produção de efluentes e do consumo de água. Sendo assim, fazer a gestão de águas residuárias é prioridade em muitas regiões, devido à escassez do recurso, da poluição de mananciais e principalmente como resultado da grande expansão industrial (ALNOURI, LINKE e EL-HALWAGI, 2016). No Quadro 1 são apresentados os trabalhos mais citados relacionados ao tema de reúso de águas residuárias industriais tratadas encontrados na academia, que mostram como o reúso foi feito e os principais resultados conquistados para as empresas.

Quadro 1 – Artigos mais citados encontrados na academia sobre o reúso de águas residuárias industriais tratadas

| Autores | Citações | Objetivo | Principais resultados |
|-------------------------------|-----------------|--|---|
| HADAD; MAINE e BONETTO (2006) | 336 | Descrever o crescimento e remoção de nutrientes e metais da vegetação de um pântano experimental feito para tratar águas residuais industriais em Santa Fé na Argentina. | A composição da vegetação depende da interação entre habilidades competitivas, disponibilidade de recursos e do grau de perturbação. A espécie aconselhável para o tratamento de águas residuais de alta condutividade e pH enriquecido com metais, característicos de diversos processos industriais é a <i>T. domingensis</i> . |
| AMUDA e AMOO (2007) | 285 | Examinar a eficácia do processo de coagulação e floculação usando cloreto férrico e polieletrólito (poliacrilamida não iônica) para o tratamento de águas residuais industriais de bebidas na Nigéria. | Os resultados revelaram que na faixa de pH testada, o pH operacional ideal foi 9. Além disso, o uso combinado de coagulante e o polieletrólito resultou na produção de volume de lodo com redução de 60% da quantidade produzida, quando utilizado somente o coagulante. Pode-se concluir a partir deste estudo que a coagulação / floculação pode ser um processo de pré-tratamento útil para bebidas industriais. |
| EL DIWANI, et al. (2007) | 213 | Avaliar a viabilidade do uso de bittern como subproduto da fabricação de sal, como uma fonte de baixo custo de íons de magnésio, para recuperar a amônia de efluentes industriais no Egito. | O bittern como fonte de íons de magnésio é eficaz na precipitação de estruvita (mineral fosfato). A recuperação, aplicação e reutilização de estruvita como fertilizante foram testados e discutidos mostrando que a estruvita pode ser fértil, econômica e de aplicação verde ao meio ambiente. |

Continua...

...Continuação Quadro 1

| | | | |
|--------------------------|-----|---|--|
| WANG, et al. (2005) | 209 | O lodo de esgoto coletado de cinco estações de tratamento de águas residuais municipais e três estações de tratamento de águas residuais industriais da indústria petroquímica, de cerveja e de papel na China foi examinado para as concentrações totais de Cd, Cr, Pb, Cu, Ni e Zn e frações químicas de metais pesados para obter uma avaliação preliminar para a aplicação terrestre de lodo de esgoto. | O lodo de esgoto coletado em oito estações de tratamento de esgoto tem alto teor de carbono orgânico e é rico em nutrientes como N e P, portanto, podem ser usados como bons fertilizantes orgânicos. Mas o impacto causado por metais pesados após sua aplicação agrícola de lodo deve ser avaliado. |
| POTHITOU e VOUTSA (2008) | 207 | Investigar a ocorrência e o destino de compostos desreguladores endócrinos em três estações de tratamento de águas residuais: uma tratando águas residuais municipais e as outras duas tratando águas residuais industriais de fábricas têxteis e curtumes na Grécia. | As taxas de remoção dos compostos estudados variaram de 86% a 99%, com o biorreator sendo a etapa crítica do tratamento. O lodo de esgoto cumpre o critério para nonilfenóis, portanto, a possível aplicação em terras agrícolas não apresenta risco significativo. Além disso, a ocorrência de nonilfenol em águas residuais urbanas e industriais resulta em um aumento do risco para as águas superficiais receptoras, portanto, este composto deve estar entre os parâmetros regularmente determinados em águas residuárias. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

É possível notar que os artigos mais citados relacionados ao tema desta pesquisa foram escritos entre 2005 e 2008. Observa-se também, uma variedade de localidade onde foram realizados os trabalhos, visto que, cada um deles foi desenvolvido em um país diferente sendo eles: Argentina, Nigéria, Egito, China e Grécia. Além disso, o objeto de estudo, assim como as formas de tratamento para águas residuárias industriais, são diversificadas e apropriadas para o objetivo de cada pesquisa. Isso é importante para promover o desenvolvimento e descoberta de novos meios que ajudarão a tratar os esgotos industriais e ainda preservar o meio ambiente.

Além de analisar os artigos mais citados relacionados ao reúso de águas residuárias industriais tratadas, é importante buscar nos artigos mais recentes escritos sobre esse tema, o que a academia tem estudado. No Quadro 2 é possível fazer essa análise observando cinco artigos publicados recentemente entre 2020 e 2021.

Quadro 2 - Artigos mais recentes encontrados na academia sobre o reúso de águas residuárias industriais tratadas

| Autores | Objetivo | Principais resultados |
|--------------------------------|---|--|
| SOH, et al. (2021) | Caracterizar produtos microbianos solúveis (SMPs) produzidos a partir de uma planta de tratamento de águas residuais industriais de múltiplos estágios (anaeróbio/aeróbio) em Singapura. | Essas moléculas pequenas não devem ser negligenciadas por causa de seus efeitos no processo de tratamento, como incrustação de membrana, qualidade do efluente e seu potencial de biotransformação em outros compostos (subprodutos da desinfecção) que podem então se acumular no meio ambiente. |
| FEBRIASARI, et al. (2021) | Observar o efeito da adição de polivinilpirrolidona (PVP) na permeabilidade da membrana de polissulfona e no desempenho anti-incrustante em escala de laboratório por meio do processo de ultrafiltração (UF) na Indonésia. | A adição de uma quantidade muito baixa de PVP (menos de 1% em peso do peso total da solução dopada) ainda pode afetar o aumento nos valores de fluxo de membrana e hidrofobicidade. Isso também afetou a diminuição da pressão operacional necessária para a filtração de águas residuais de batique após o pré-tratamento. Os resultados também confirmaram que as membranas à base de polissulfona podem ser modificadas pela adição de PVP pelo método de inversão de fase. |
| CARMONA-CARMONA, et al. (2020) | Verificar o desempenho de eletrocoagulação (CE) de um sistema Mg-Mg para o tratamento de efluentes industriais, de um parque industrial que abrange diversas atividades após clarificação primária no México. | O sistema foi altamente eficiente. Minerais como clorita, crossita, richterita, piroaurita, langbeinita, bem como compostos aromáticos alifáticos e polissubstituídos, sulfatos e fosfatos, íons inorgânicos e fósforo orgânico foram reduzidos. |
| DEHBOUDEH, et al. (2020) | O processo eletro-Fenton (EF) foi realizado como um pré-tratamento para águas residuais petroquímicas que resultaram de unidades de olefinas, metanol, aromáticos, amônia e ureia no Irã. | Uma combinação híbrida de eletro-Fenton e lodo ativado de filme fixo integrado, pode ser recomendada para o tratamento de águas residuais do complexo petroquímico. |
| MU et al. (2020) | O hidrogel como um novo material adsorvente foi usado para revelar o mecanismo de remoção de íons de metais pesados de águas residuais industriais por hidrogéis na China. | O hidrogel tem excelente taxa de inchamento e características recicláveis, tornando-o a melhor escolha para fazer adsorvente. Sob esta condição, a capacidade de adsorção do adsorvente de hidrogel está no melhor estado e pode efetivamente adsorver a maior parte do Pb, o que fornece um novo método para o tratamento de águas residuais industriais. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Observa-se ao analisar os artigos mais recentes publicados sobre o tema de estudo, que cada pesquisa focou em estudar uma nova forma para se conseguir reduzir ou eliminar materiais pesados e poluentes das águas residuárias industriais. Isso é importante para comprovar que o tema está em alta na academia e para impulsionar as esferas políticas de todo o mundo a incentivarem o uso de novas formas de tratamento dessas águas. Além disso, é essencial proporcionar ainda a conscientização das indústrias que mais poluem os mananciais, para que os gestores possam adotar novas práticas de tratamento e reutilização de águas residuárias, pois isso pode reduzir custos para as empresas e ainda promover o desenvolvimento sustentável (HESPANHOL, 2002).

5. Considerações Finais

O objetivo desse trabalho foi investigar na literatura, o contexto do reúso de águas industriais, identificando os principais resultados encontrados nos artigos da frente de pesquisa. Para tanto, a base de dados *Web of Science* foi escolhida para desenvolver esse estudo caracterizado como uma pesquisa de revisão sistemática.

Nota-se que o tema do trabalho é muito relevante, visto que, muitos estudos estão evidenciando a importância de abordar a proximidade da escassez de água e a necessidade de implantar novos meios e técnicas de reúso da mesma. Com isso, o setor industrial ganha notoriedade por ser um dos setores que mais consomem água em seus processos, e, implantar novas tecnologias para reutilizar águas residuárias pode promover um custo benefício considerável para as empresas e ainda colaborar para o desenvolvimento sustentável.

Além da ênfase dada pelos autores a escassez de água global e regional, observa-se que a poluição de mananciais proveniente de resíduos e descarga de águas residuárias industriais, têm prejudicado cada vez mais o meio ambiente. Assim, os artigos mais citados relacionados ao tema foram escritos entre 2005 e 2008, e realizados em vários países como: Argentina, Nigéria, Egito, China e Grécia. Além disso, os trabalhos mais recentes publicados em 2020 e 2021 mostram uma variedade de formas e produtos que podem ser utilizados em diferentes contextos para tratamento de águas residuárias industriais, com vista a fornecer novas alternativas de reúso para as indústrias e ainda incentivar a preservação de mananciais.

Quanto as limitações da pesquisa, destaca-se que o estudo contemplou somente uma base de dados, que apesar de ser considerada ampla, privilegia a literatura dos Estados Unidos e da Europa, assim é pertinente uma revisão que englobe os trabalhos das demais localidades. Além disso, foram analisados, ainda que forma breve, somente os cinco artigos mais citados e os cinco artigos mais recentes publicados sobre o tema, não sendo explorado aspectos metodológicos, ontológicos e epistemológicos dos artigos. Como sugestões futuras de pesquisa, indica-se ampliar as bases da pesquisa, inclusive as brasileiras, realizar uma análise integrativa de todos os artigos encontrados e ainda mapear os novos elementos para temática discutidos pelos autores em todos os artigos.

REFERÊNCIAS

ALNOURI, Sabla Y.; LINKE, Patrick; EL-HALWAGI, Mahmoud M. Synthesis of industrial park water reuse networks considering treatment systems and merged connectivity options. *Computers & Chemical Engineering*, v. 91, p. 289-306, 2016.

ALVES, M. F. R.; GALINA, S. V. R.; DOBELIN, S. Literature on organizational innovation: past and future. **Innovation & Management Review**, v. 15, n. 1, p. 2–19, 2018.

AMUDA, O. S.; AMOO, I. A. Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, n. 3, p. 778-783, 2007.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Usos da água**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>. Acesso em: 26 mar. 2021.

BARDIN, L. **Análise do Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BUTTS, Kent Hughes. The strategic importance of water. **The US Army War College Quarterly: Parameters**, v. 27, n. 1, p. 1, 1997.

CAMIOTO, Flávia de Castro; MARIANO, Enzo Barberio; REBELATTO, Daisy Aparecida do Nascimento. Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development. **Environmental Science & Policy**, v. 37, p. 50-60, 2014.

CARDOSO, Danielle Kozak et al. Reutilização de água: uma alternativa para o desperdício e economia da água em residências. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24566-24581, 2020.

CARMONA-CARMONA, Perla Fabiola et al. Industrial wastewater treatment using magnesium electrocoagulation in batch and continuous mode. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, p. 1-16, 2020.

CASH, David W. et al. Knowledge systems for sustainable development. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 100, n. 14, p. 8086-8091, 2003.

CHENG, Hefa; HU, Yuanan; ZHAO, Jianfu. Meeting China's water shortage crisis: current practices and challenges. 2009.

CUI, Y.; LIU, Y.; MOU, J. Bibliometric analysis of organisational culture using CiteSpace. **South African Journal of Economic and Management Sciences**, v. 21, n. 1, p. 1–12, 2018.

CUNHA, Ananda Helena Nunes et al. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 1225-1248, 2011.

DEHBOUDEH, Marzie et al. Experimental investigation of petrochemical industrial wastewater treatment by a

combination of integrated fixed-film activated sludge (IFAS) and electro-Fenton methods. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 6, p. 104537, 2020.

DEMADIS, Konstantinos D. et al. Industrial water systems: problems, challenges and solutions for the process industries. **Desalination**, v. 213, n. 1-3, p. 38-46, 2007.

EL DIWANI, G. et al. Recovery of ammonia nitrogen from industrial wastewater treatment as struvite slow releasing fertilizer. **Desalination**, v. 214, n. 1-3, p. 200-214, 2007.

FAO, Food and Agriculture Organization. 2050: **A escassez de água em várias partes do mundo ameaça a segurança alimentar e os meios de subsistência**. 2020. Disponível em:
<http://www.fao.org/news/story/pt/item/283456/icode/>. Acesso em: 26 mar. 2021.

FEBRIASARI, Arifina et al. Polysulfone–Polyvinyl Pyrrolidone Blend Polymer Composite Membranes for Batik Industrial Wastewater Treatment. **Membranes**, v. 11, n. 1, p. 66, 2021.

FLÖRKE, Martina et al. Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: A global simulation study. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 1, p. 144-156, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7a edição ed. São Paulo: ATLAS, 2019.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa tipos fundamentais. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 20–29, 1995.

HADAD, H. R.; MAINE, M. A.; BONETTO, C. A. Macrophyte growth in a pilot-scale constructed wetland for industrial wastewater treatment. **Chemosphere**, v. 63, n. 10, p. 1744-1753, 2006.

HESPANHOL, Ivanildo et al. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, Ivanildo. Esgotos como Recurso Hídrico: Parte I: Dimensões políticas, institucionais, legais, econômico-financeiras e sócio-culturais. **Engenharia-Revista do Instituto de Engenharia**, Ano, v. 55, p. 45-58, 1997.

KUMMU, Matti et al. Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 3, p. 034006, 2010.

KUMMU, Matti et al. The world’s road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-16, 2016.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, HF dos. Reúso de água. [sl] Editora Manole Ltda. 2003.

MU, Ruihua et al. Hydrogel adsorbent in industrial wastewater treatment and ecological environment protection. **Environmental Technology & Innovation**, v. 20, p. 101107, 2020.

OLIVO, Andréia de Menezes; ISHIKI, Hamilton Mitsugu. Brasil frente à escassez de água. In: Colloquium Humanarum. ISSN: 1809-8207. 2014. p. 41-48.

POTHITOU, Paraskevi; VOUTSA, Dimitra. Endocrine disrupting compounds in municipal and industrial wastewater treatment plants in Northern Greece. **Chemosphere**, v. 73, n. 11, p. 1716-1723, 2008.

PRADO, J. W. DO *et al.* Multivariate analysis of credit risk and bankruptcy research data: a bibliometric study involving different knowledge fields (1968–2014). **Scientometrics**, v. 106, n. 3, p. 1007–1029, 2016.

RANADE, Vivek V.; BHANDARI, Vinay M. **Industrial wastewater treatment, recycling and reuse**. Butterworth-Heinemann, 2014.

REBOUÇAS, Aldo da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia análise & dados**, v. 13, p. 341-345, 2003.

SOH, Yan Ni Annie et al. Comparison of soluble microbial product (SMP) production in full-scale anaerobic/aerobic industrial wastewater treatment and a laboratory based synthetic feed anaerobic membrane system. **Science of The Total Environment**, v. 754, p. 142173, 2021.

SONAWANE, Shirish H. et al. (Ed.). **Innovative technologies for the treatment of industrial wastewater: a sustainable approach**. CRC Press, 2017.

VAN HAANDEL, Adrianus C.; LETTINGA, Gatzte. Anaerobic sewage treatment. **Jhon wiley & sons**, London, England, 1994.

WANG, Chao et al. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants. **Journal of hazardous materials**, v. 119, n. 1-3, p. 245-249, 2005.