



Avaliação de sustentabilidade para estações de tratamento de esgoto: uma revisão bibliométrica

Assessment of sustainability for wastewater treatment plants: a bibliometric review

Renata Carlos FREIRE^{1*}, Marianna de Andrade SARAIVA¹, Eduarda Maria Farias SILVA¹, Patrícia Verônica Pinheiro Sales LIMA¹

¹ Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

* E-mail of contact: renata.carlosfreire@gmail.com

Artigo recebido em 17 de janeiro de 2021, versão final aceita em 31 de maio de 2021, publicado em 5 de abril de 2023.

RESUMO: A Agenda 2030 adotou como um dos seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”. Trata-se de uma pretensão que requer o envolvimento de atores, gestores, pesquisadores, setor privado e sociedade civil. A ciência pode se engajar na referida agenda por meio da produção de conhecimento e subsídios aos gestores. O presente estudo tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica das publicações relacionadas à sustentabilidade no tratamento de efluentes do período de 2015 a 2020. Para isso, utilizou-se a base de dados *Scopus*, buscando caracterizar as publicações com os temas “*sustainability*”, “*wastewater treatment*” e “*assessment*”, considerando a quantidade, ano, principais autores, revistas, principais países, palavras-chave e principais artigos. O estudo identificou uma crescente quantidade de publicações sobre o tema e algumas metodologias importantes como a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e a Análise Multicritério. Além disso, concluiu-se que, embora existam várias publicações sobre o tema, em alguns artigos e metodologias não são abordados todos os pilares da sustentabilidade.

Palavras-chave: bibliometria; tratamento de efluentes; desenvolvimento sustentável; ETE; saneamento.

ABSTRACT: The 2030 Agenda adopted as one of its Sustainable Development Goals (SDGs): "ensuring the availability and sustainable management of water and sanitation for all". This is a claim that requires the involvement of actors, managers, researchers, private sector, and civil society. Science can be engaged in this agenda through the production of knowledge and subsidies to managers. The present study aims to perform a bibliometric analysis of publications related to sustainability in the treatment of effluents from 2015 to 2020. For this,

the Scopus database was used, seeking to characterize the publications with the themes “sustainability”, “wastewater treatment” and “assessment”, considering the quantity, year, main authors, magazines, main countries, keywords and main articles. The study identified an increasing number of publications on the topic and some important methodologies such as Life Cycle Analysis (LCA) and Multicriteria Analysis. In addition, it was concluded that, although there are several publications on the subject, in some articles and methodologies, not all pillars of sustainability are addressed.

Keywords: bibliometry; sewage treatment; sustainable development; WWTP; sanitation.

1. Introdução

A poluição e degradação dos recursos hídricos são problemas globais, sendo intensificados pela falta de esgotamento sanitário em muitas cidades. Dados do monitoramento de abastecimento de água, saneamento e higiene apontam que 1 em cada 3 pessoas em todo o mundo não tem acesso a água potável e mais da metade da população global carece de saneamento seguro (UNICEF & WHO, 2019).

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas estabeleceu metas para garantir a disponibilidade e o manejo sustentável da água potável e do saneamento básico. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 possui metas que incluem a melhoria da qualidade da água; o tratamento de águas residuárias e a reutilização segura desses efluentes; o aumento da eficiência do uso da água; a garantia do abastecimento de água doce; a implementação da gestão de reuso de água; e proteção e restauração de ecossistemas relacionados à água (Delanka-Pedige *et al.*, 2020; United Nations, 2020). O ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis também possui metas que se relacionam à infraestrutura de águas residuárias, são elas: provisão de serviços essenciais; redução do impacto ambiental adverso das cidades, incluindo a qualidade do ar e a gestão de resíduos municipais; e aumento da eficiência dos recursos.

Para alcançar as metas de saneamento universal e seguro até 2030, a taxa de cobertura de saneamento precisa quadruplicar (UNICEF & WHO, 2020), sendo necessário, portanto, atuação em cinco principais estratégias: governança com liderança efetiva, financiamento, desenvolvimento de capacidades, suporte de dados confiáveis e soluções inovadoras.

As instalações onde ocorrem o processo de tratamento dos efluentes em grande escala são as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Estas são essenciais para o sucesso de um plano de saneamento, por terem como objetivo garantir a qualidade final dos efluentes e assim que seja cumprido o preconizado nas legislações ambientais vigentes (Neves *et al.*, 2019). Maninna *et al.* (2019) abordam que, para serem consideradas sustentáveis, as ETes devem atingir baixa descarga de poluentes, proteção sanitária humana e custos de construção e operação viáveis.

Entretanto, as ETes geralmente utilizam muita energia e geram grande quantidade de emissões tanto de gases do efeito estufa quanto de poluentes em corpos d’água (Chai *et al.*, 2015). Esse cenário composto ora pela falta de tratamento, ora pela ineficiência do tratamento de efluentes, além de tratar-se de um tema essencial para proteger a saúde humana e sustentabilidade ambiental (IOC & UNESCO, 2011), tem feito com que a avaliação

de desempenho das ETEs conquistou o interesse de seus gestores e autoridades do saneamento (Piao *et al.*, 2016).

Soluções mais sustentáveis para o gerenciamento de ETEs são analisadas mundialmente (Mannina *et al.*, 2019). Esse campo de estudos está em constante aprimoramento e os resultados obtidos podem oferecer ainda mais oportunidades para que a comunidade científica encontre soluções inovadoras e universais para os problemas das ETEs, abrangendo cada vez mais aspectos do processo, da segurança à sustentabilidade, incluindo a operação eficiente, a otimização de custos, o tratamento de poluentes emergentes, a redução de emissões e de outros subprodutos, de forma flexível o suficiente para ser adaptável às condições contextuais de mudança rápida em que as ETEs atuais estão inseridas.

Nesta perspectiva surgem as seguintes questões: Como a produção científica relativa à sustentabilidade no tratamento de esgoto tem se desenvolvido? Quais as áreas da ciência mais contempladas nos trabalhos? Quais as tendências e lacunas de conhecimento? Considerando essas questões, este artigo tem como objetivo apresentar uma análise bibliométrica das publicações relacionadas à sustentabilidade no tratamento de efluentes do período de 2015 a 2020, como forma de subsidiar diferentes maneiras de gerenciar e avaliar a sustentabilidade de instalações de ETEs e direcionar novas pesquisas na temática.

O estudo bibliométrico mostra de forma mais objetiva e completa o que foi escrito sobre um determinado assunto, apresentando alguns estudos que, muitas vezes, não são vistos por não estarem entre os grupos de autores mais citados, embora esses estudos possam ter grande valor para as pesquisas sobre o tema. No caso deste trabalho, foi feita uma

análise bibliométrica através da base *Scopus* com o auxílio do software *VOSviewer*.

2. Sustentabilidade nas estações de tratamento de esgoto: peça-chave na busca do desenvolvimento sustentável

Sustentabilidade é um termo que expressa ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações. O conceito é fundamentado por três principais pilares: econômico, social e ambiental.

No intuito de promover a sustentabilidade em sistemas de tratamento de esgotos, incorporando os principais pilares na infraestrutura de águas residuárias, pode-se destacar o uso de soluções específicas locais, a implementação de um sistema economicamente viável, a ausência de substâncias poluentes nos produtos e subprodutos da ETE, a adaptabilidade e a não indução de distorções irreversíveis nos ciclos do meio ambiente (Brostel, 2002).

A eficiência energética e a recuperação de biocombustíveis possibilitam obter uma menor pegada de carbono, bem como diminuir os custos com energia, além de promover o desenvolvimento econômico local. A redução de emissões no tratamento minimiza os odores e a emissão de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo com a redução dos impactos das mudanças climáticas e promoção de uma maior qualidade de vida para as populações. A obtenção de água de alta qualidade previne a eutrofização de corpos hídricos, reduzindo a toxicidade humana, animal e aquática (Delanka-Pedige *et al.*, 2020).

O objetivo atual das ETEs é a melhoria da qualidade dos efluentes finais, buscando maior sustentabilidade no tratamento, ou seja, tratar a maior quantidade de esgoto possível, com menor custo associado ao tratamento e causando menos impactos ambientais, sendo ambientalmente eficaz, economicamente acessível e socialmente aceitável (Garrido-Baserba *et al.*, 2014; Mannina *et al.*, 2019).

Além do mais, o tratamento deve ser seguro para os trabalhadores e para a comunidade envolvida, para afetar minimamente os *stakeholders* (Amaral *et al.*, 2018). A operação ideal das estações requer a integração entre vários fatores de diferentes naturezas tecno-econômicas, ambientais, saúde-higiene e socioculturais, tornando esta questão muito desafiadora (Mannina *et al.*, 2019).

A sustentabilidade é um conceito de difícil mensuração, fato reconhecido durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio 92, ocorrida em 1992 e documentado na Agenda 21, capítulo 40. No referido capítulo está explícita a necessidade de criar formas de avaliação da sustentabilidade, incluindo aí a cooperação dos meios científicos e tecnológicos (United Nations, 1996).

Seguindo as orientações da Agenda 21, desde o final da década de 1990 foram propostas diferentes metodologias voltadas para a avaliação e o monitoramento da sustentabilidade dos mais diversos objetos de interesse: cidades, comunidades, atividades econômicas, políticas públicas e empresas. Para Abreu & Rodrigues (2011), considerando as ETEs, o estabelecimento de indicadores e critérios para avaliação de sua sustentabilidade é relevante, pois, na maioria das vezes, durante a escolha e concepção de projetos levam-se em conta apenas os custos de implantação e os custos de operação e manutenção.

Segundo os autores, além do aspecto econômico, é fundamental que se considere as dimensões sociais e ambientais, pois estas envolvem problemas de degradação ambiental, saúde e qualidade de vida. Ao incorporar esses critérios, solidifica-se a preocupação com a sustentabilidade em estações de tratamento de esgotos e aceita-se como imediata a construção de metodologias que tornem possível a sua mensuração.

3. Metodologia

A bibliometria compreende o uso de técnicas quantitativas e estatísticas para medir a produção e a transmissão do conhecimento científico, além de informar padrões da comunicação escrita e aspectos da literatura (Koseoglu *et al.* 2016). Refere-se a uma técnica quantitativa e estatística que permite medir índices de produção e disseminação do conhecimento, acompanhar o desenvolvimento de diversas áreas científicas e os padrões de autoria, publicação e uso dos resultados de investigação (Araújo, 2006).

Os indicadores bibliométricos são ferramentas que permitem a avaliação da produção científica sobre um tema sobre diferentes aspectos: a percepção ou opinião dos pares que avaliam as publicações pelos seus conteúdos; quantificação da atividade científica desenvolvida em termos de número e distribuição geográfica dos trabalhos publicados, a produtividade dos autores, a rede de colaboração na autoria de trabalhos, número de citações recebidas; o fator de impacto das revistas, o índice de citação imediata e a influência das revistas; tópicos mais importantes e tópicos de menor interesse (Lopes *et al.*, 2012). Na Tabela 1 consta a sequência metodológica adotada no estudo.

TABELA 1 – Sequência metodológica adotada na análise bibliométrica.

Fases da Metodologia	Descrição e atividades
1 – Estruturação da Pesquisa	- Estabelecimento e avaliação do objetivo de pesquisa para estruturação do teórico; - Seleção das palavras ou termos de acordo com revisão de literatura; - Composição da busca, sendo a mesma direcionada em artigos.
2 – Levantamento dos artigos	- Exploração das palavras e termos acordados; - Saturação dos artigos encontrados na base de dados Scopus; - Artigos encontrados até a data de 11 de junho de 2020.
3 – Apuração da amostra de artigos	- Extração das referências de todos os itens indexados; - Listagem das citações pertinentes dos trabalhos buscados.
4 – Tabulação e análise dos dados	- Tabulação dos quesitos escolhidos dos documentos; - Geração de mapas pelo software <i>VOSviewer</i> ; - Geração de tabelas e gráficos para análises desses dados, pelo Excel.

FONTE: Modificado de Schmitt *et al.* (2013).

Para desenvolver o referencial teórico do artigo foram consultados livros, dissertações, teses e artigos de periódicos.

Considerando os artigos levantados neste estudo, para a análise bibliométrica, foram obtidos apenas pela base *Scopus*. Essa busca ocorreu somente na base *Scopus* por esta possuir vários artigos na área de tecnologia e ciências ambientais. As palavras-chave utilizadas na busca na base escolhida foram: “*assessment*”, “*sustainability*” e “*wastewater treatment*”, além disso, foi utilizado o conectivo “*AND*” para estreitar a busca pelas palavras escolhidas. Todas as palavras de busca estavam no idioma inglês para que a maior quantidade de artigos fosse encontrada, visto que a maioria dos artigos em periódicos são escritos nessa língua. Além disso, nos mecanismos de filtragem da busca foi adotado o período de 2015 a 2020, até a data de realização da pesquisa que foi no dia 11 de junho de 2020, e filtro para artigos de periódicos, ou seja, foram excluídos livros e outros tipos de documentos. Outra filtragem

feita na base foi a exclusão de áreas relacionadas à medicina, à imunologia, à matemática, à ciência da computação, à astronomia e à farmacêutica. Sob esses critérios foram identificados 332 documentos.

Uma parte dos indicadores bibliométricos foi obtida da própria base *Scopus*. A outra parte, bem como os mapas, foram elaborados com o auxílio do software *VOSviewer*. As informações analisadas neste artigo foram: evolução do total de publicações no assunto, a quantidade de publicações por periódico, as revistas que mais publicaram, os autores mais influentes no assunto, os países com mais publicações e os mais influentes sobre o assunto abordado, as subáreas dos artigos, as principais palavras-chave, os principais artigos sobre o tema e a avaliação desses artigos em relação à sustentabilidade.

Considerando os artigos escolhidos para maior aprofundamento, três critérios foram usados: número de citações, número de “*link*” no *VOSviewer*, coocorrência de palavras-chave e pela análise

de cocitação. Foram usados esses critérios e não apenas o número de citações, pois, algumas vezes, um determinado documento possui muitas citações, porém não tem muita relação com o assunto escolhido para a pesquisa, pois o artigo foi muito citado por outros trabalhos com temas diferentes do escolhido. Por essa razão, o software *VOSviewer* possui um critério chamado “*link*”, que classifica o documento em relação ao assunto escolhido, logo, quanto maior o valor do “*link*” maior a ligação do trabalho com o tema.

Foram escolhidos alguns artigos que tenham se destacado nos critérios de número de citações e de “*link*” do software. Desses artigos escolhidos, foram identificadas características como a metodologia de mensuração da sustentabilidade, se ocorre um foco em alguma etapa específica do tratamento de efluentes, os pilares da sustentabilidade abordados e a presença ou não de estudos de casos.

4. Resultados e discussão

A análise bibliométrica e a descrição dos principais artigos são apresentadas a seguir. Dentre os critérios discutidos nesta seção, tem-se: a evolução da produção no campo de estudo e a produção dos principais países, as análises das áreas da ciência e das palavras-chave encontradas e as lacunas identificadas na pesquisa.

4.1. Evolução da produção no campo de estudo e a produção por país

Sustentabilidade é um tema que está em crescente discussão e isso também ocorre com a sustentabilidade em relação ao esgotamento sanitário. Isso é mostrado na Figura 1, através do aumento de publicações ao ano em periódicos da base *Scopus*.



FIGURA 1 – Documentos publicados na *Scopus* sobre o tema de 2015 a 2020.

FONTE: Elaboração própria (2020).

O crescente interesse pelo tema sustentabilidade e tratamento de esgotos é perceptível no maior número de artigos em periódicos no ano de 2020 mesmo considerando-se apenas os seis primeiros meses deste ano (76 artigos e cerca de 23% do total de 332 artigos publicados durante o período de 2015-2020).

Contudo, o maior crescimento de documentos publicados, considerando esses 5 anos analisados, foi do ano de 2016 para o ano de 2017, perceptível pela maior declividade da curva da Figura 1. Esse aumento foi de 17 artigos em relação ao ano anterior, enquanto a diferença da quantidade de artigos dos outros anos com o seu respectivo ano anterior chega a no máximo 9 artigos publicados a mais (anos 2019-2020). Considerando-se os anos de

2015 e 2020, o ano de 2020 teve um aumento de 44 artigos em relação ao ano de 2015, o que equivale a um aumento de 137,5%.

Dos 332 artigos, 70 deles (21%) foram produzidos nos Estados Unidos e 60 artigos (18%) foram produzidos na China, isso é mostrado na Figura 2. Apenas estes dois países detêm cerca de 40% dos artigos publicados. No gráfico 2 apenas são mostrados os 10 países com mais publicações, pois estes detêm 93% dos artigos publicados, os demais países juntos publicaram 23 artigos nos 5 anos de referência. Os Estados Unidos possuem o dobro de publicações do 3º país que mais publicou, que foi a Espanha (35 artigos que é o equivalente a 10,5% das publicações).

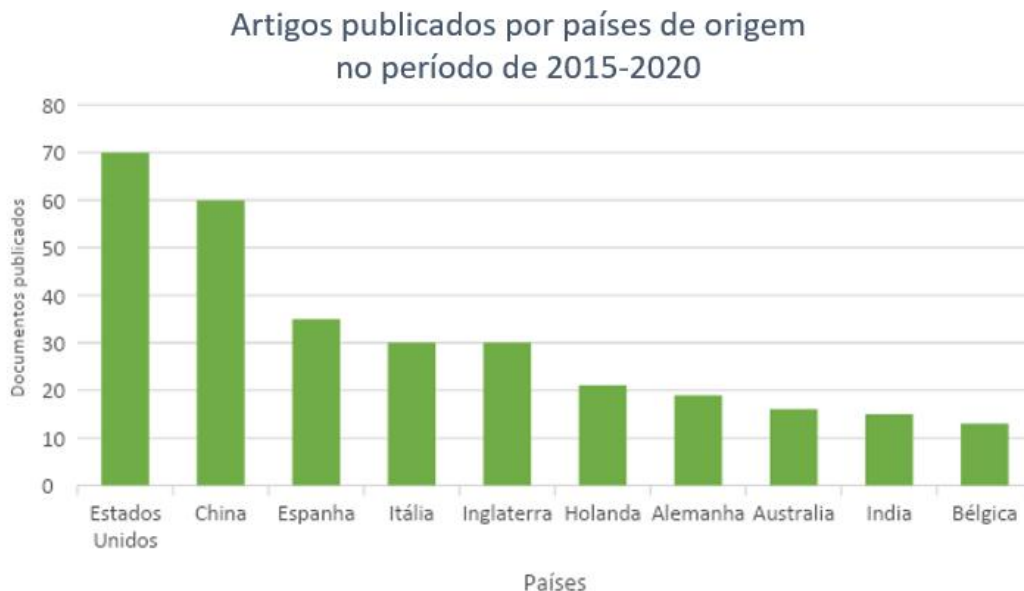


FIGURA 2 – Artigos publicados por países de origem no período de 2015-2020.

FONTE: Elaboração própria (2020).

Na Figura 3, é mostrado um mapa feito no software *VOSviewer* que ilustra a importância de cada país em relação a quantidade de citações. Além disso, esse mapa demonstra as relações entre paí-

ses e os documentos produzidos e também mostra o período onde ocorreram a maior quantidade de publicações para cada país.

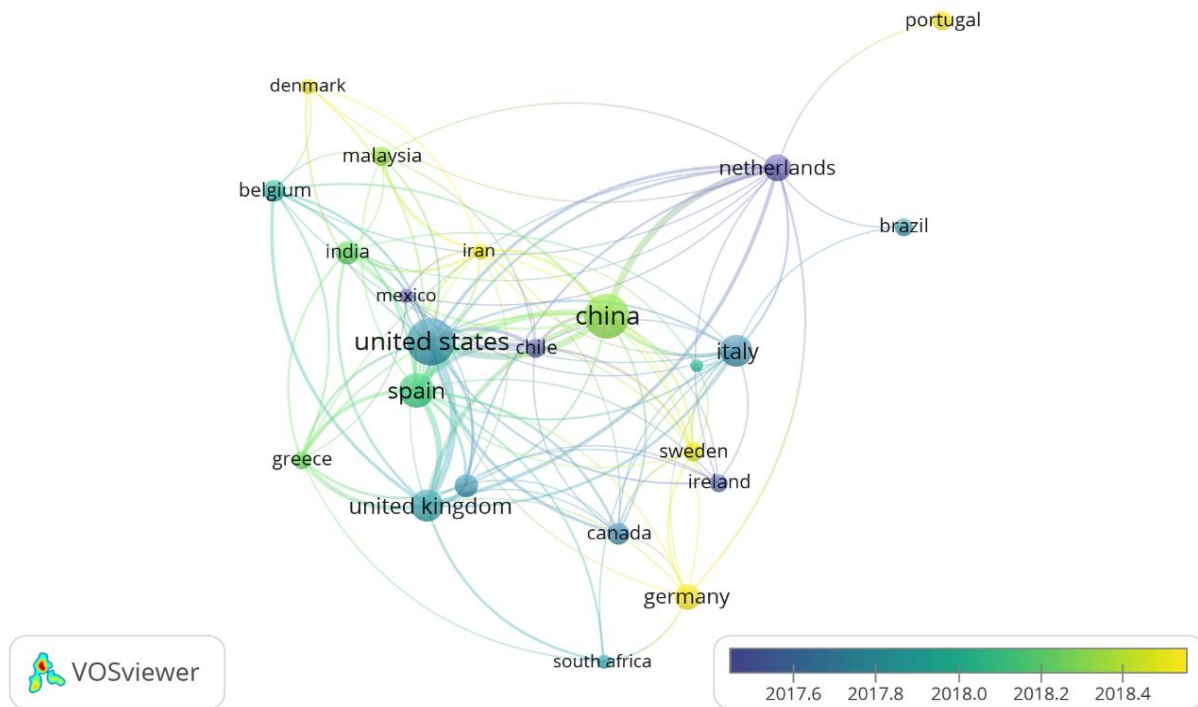


FIGURA 3 – Países com mais documentos citados no período de 2015-2020.

FONTE: Elaboração própria (2020).

A Espanha e a China possuem uma quantidade similar de citações, embora a China (60 artigos) possua quase o dobro de artigos publicados em relação à quantidade publicada pela Espanha (35 artigos). Ainda sobre a Figura 3, considerando a cor que representa a Espanha e a cor que representa a China, é possível afirmar que as publicações espanholas são mais antigas que as publicações predominantes chinesas, o que justifica o fato de a Espanha possuir um volume de citação próximo da quantidade chinesa. Já os Estados Unidos permanecem soberanos, considerando-se tanto a quantidade de documentos publicados quanto a quantidade de citações e isso é reafirmado pela quantidade de conexões (quantidade de linhas na figura) e pela forte relação de discussão e citação com alguns países (demonstrado pela proximidade com alguns países e pela maior espessura da linha na figura).

Alguns países não aparecem entre os 10 países que mais publicaram, porém, aparentam ser tão cita-

dos quanto alguns países que aparecem na Figura 2, como é o caso do Brasil, Grécia, Malásia e Canadá.

4.2. Produtividade dos autores e dos periódicos

Em relação às revistas que mais tiveram artigos sobre sustentabilidade e tratamento de efluentes, apresentadas na Figura 4, a revista que mais publicou sobre o tema foi a *Journal of Cleaner Production* com 48 artigos publicados (cerca de 14,5% das publicações), seguida pela *Science of the Total Environment* com 29 artigos (cerca de 8,7%). É possível perceber que, com exceção do *Journal of Cleaner Production*, a quantidade de documentos sobre o tema de indicadores de sustentabilidade no tratamento de esgoto está bem distribuída entre algumas revistas. Esse é um ponto positivo, pois abre espaço para diferentes abordagens e fornece um leque de opções para pesquisadores e uma provável redução no tempo de espera para publicação.



FIGURA 4 – Artigos publicados na Scopus no período de 2015-2020 por revista.

FONTE: Elaboração própria (2020).

Considerando os autores que mais publicaram artigos nos cinco anos de análise deste trabalho, mostrados na Figura 5, é possível perceber que os autores mais produtivos foram Xu Wang, María Molinos-Senante e Q Zhang. O primeiro trabalha na *Chinese Academy of Sciences*, a segunda trabalha na Pontifícia Universidade Católica do Chile e o último autor faz parte da *University of South Flo-*

rida. Também é possível perceber como, dentre os doze autores apresentados, a quantidade de artigos produzidos por esses estudiosos foi bem próxima uma das outras. E, além disso, pode-se perceber que a quantidade de artigos feitos por autor, considerando esses 5 anos não foram exorbitantes nem tampouco escassas.

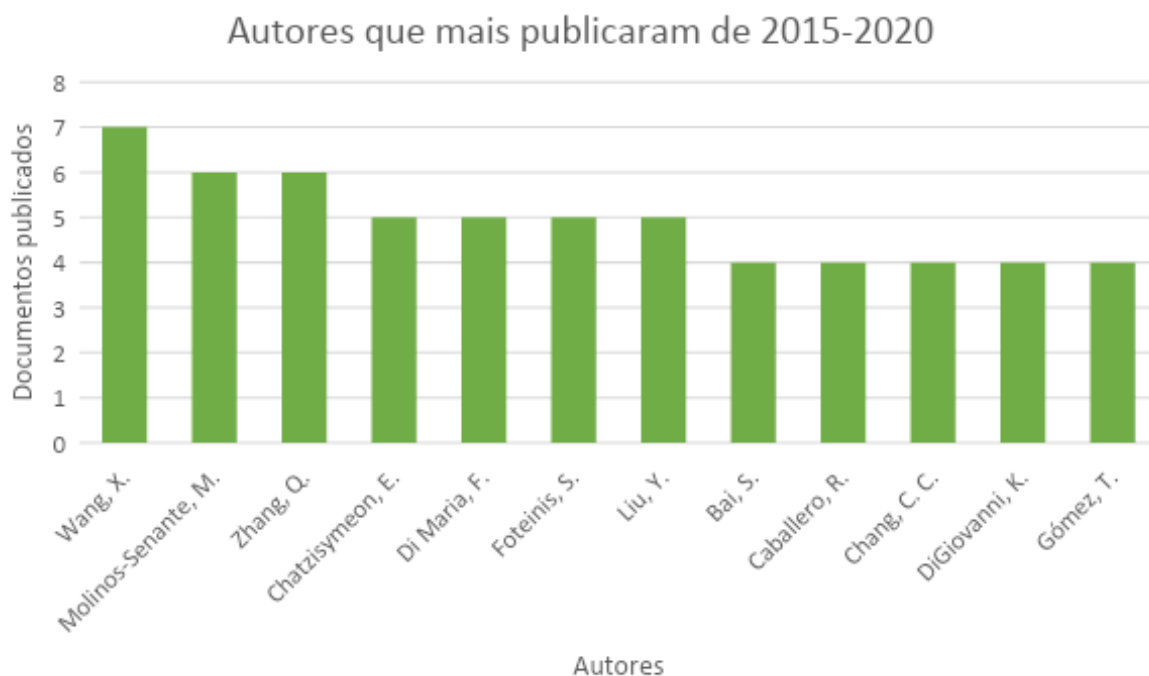


FIGURA 5 – Autores que mais publicaram na *Scopus* sobre o tema no período de 2015-2020.

FONTE: Elaboração própria (2020). Elaborada pelas autoras; *Scopus* (2020).

Ainda considerando as publicações por autores, foi criado um mapa no software *VOSviewer*, representado na Figura 6, que demonstra as relações de publicações entre autores (linhas mais grossas

significam maior relacionamento) e os autores com mais citações (círculos maiores significam maior número de citações).

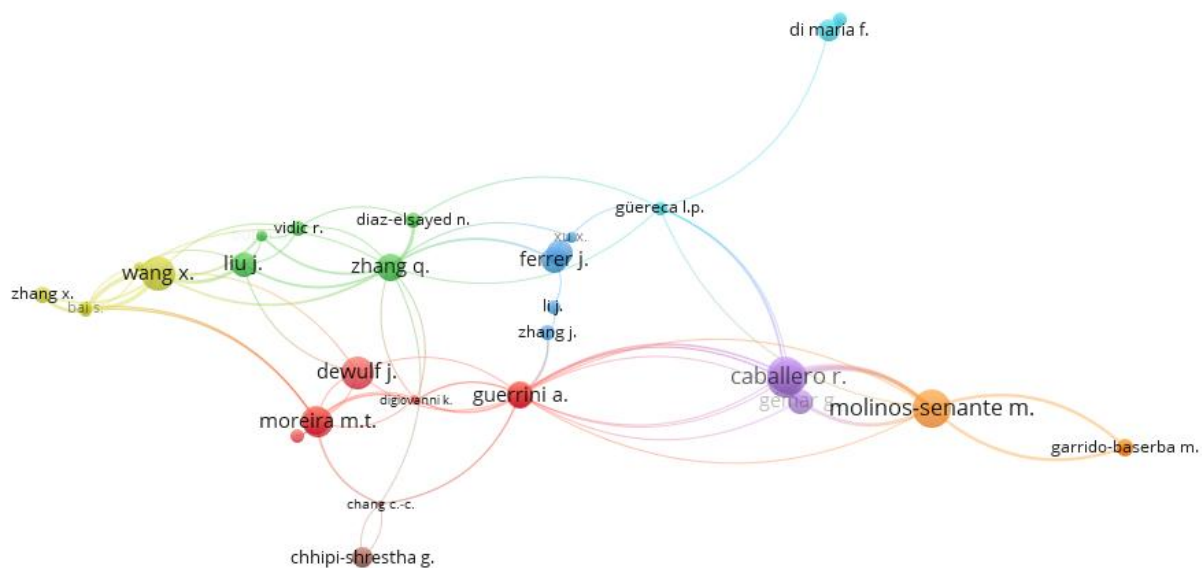


FIGURA 6 – Mapa representando os autores mais citados nas publicações do período de 2015-2020.

FONTE: Elaboração própria com auxílio do *software VOSviewer* (2020).

É possível perceber, a partir das Figuras 5 e 6, que alguns autores como Molinos-Senante e Xu Wang possuem mais publicações sobre o assunto e são alguns dos mais citados. Além disso, é possível constatar uma correlação entre todos os *clusters* (grupos de cores), mostrando que autores de diferentes lugares e instituições citam uns aos outros e que alguns autores possuem linhas mais grossas e com maior proximidade, pois trabalharam juntos em alguns artigos, como é o caso do Caballero e da Molinos-Senante. Outra conclusão que se pode perceber é que não existem autores que tenham quantidade de citações muito discrepantes em relação aos outros, o que se alinha com quantidade próxima de artigos escritos pelos 12 autores mostrados na Figura 5.

4.3. Análise das áreas de estudo e das palavras-chave encontradas

Cada documento publicado pode ser classificado em uma ou mais áreas de conhecimento que aquele artigo aborda. Todas as áreas dos 332 artigos analisados estão expressas na Tabela 2. Como o tema sustentabilidade é bem abrangente e possui três pilares (social, ambiental e econômico), foram admitidas áreas diversas de conhecimento. Dentre as áreas de estudo classificadas, a Ciência Ambiental concentrou, em termos de números de documentos, a maioria das pesquisas (296 artigos de 332, cerca de 89% dos artigos). Este resultado evidencia que os trabalhos selecionados são assertivos quanto à temática da pesquisa, pois o tratamento de esgoto e a sustentabilidade são temas que pertencem à área de conhecimento das ciências ambientais.

TABELA 2 – Áreas dos documentos da análise do período de 2015-2020.

Área de estudo	Nº de documentos
Ciência Ambiental	296
Energia	95
Engenharia	74
Negócios	48
Ciências Sociais	43
Agricultura e Ciências biológicas	34
Engenharia Química	31
Bioquímica, Genética e Biologia Molecular	28
Química	22
Economia e Finanças	8
Decisões nas ciências	4
Terra e Ciências planetárias	4
Ciência dos Materiais	2
Multidisciplinar	2

FONTE: Elaboração própria (2020).

Outra maneira de analisar a assertividade da seleção de documentos da pesquisa em relação ao tema é por meio das palavras-chave utilizadas pelos artigos. Naturalmente, a palavra-chave “*wastewater treatment*” foi a expressão mais recorrente (ocorrência em 83% dos artigos) por ser uma das palavras de busca da análise sistemática, logo, isso mostra que os artigos escolhidos são coerentes com a pesquisa realizada. Já a segunda expressão mais recorrente foi “*sustainable development*” (ocorrência em 53% dos artigos), que é intimamente relacionada à palavra de busca utilizada “*sustainability*” (ocorrência em 40% dos artigos), com isso, se confirma que devem haver poucos artigos com assunto discrepante ao tema proposto. Outros

termos se destacaram, como: “*wastewater management*” e “*wastewater*”, com aproximadamente 30% de recorrência nos artigos selecionados, sendo estes termos relacionados diretamente à palavra-chave “*wastewater treatment*”.

Foi elaborado um mapa de palavras no *VOSviewer* (Figura 7) com as 35 palavras-chave mais recorrentes nos 332 artigos analisados.

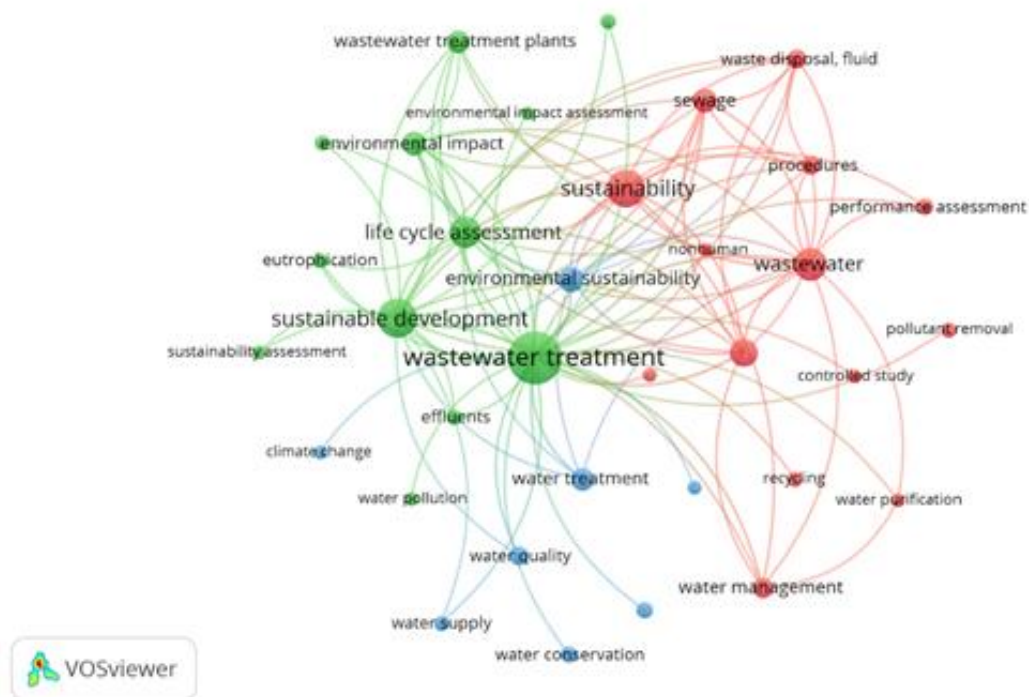


FIGURA 7 – Palavras-chave mais citadas nos periódicos de 2015-2020 sobre o tema.

FONTE: Elaboração própria com auxílio do *software VOSviewer* (2020).

O mapa de palavras-chave foi organizado em 3 *clusters*. O *cluster* verde destaca-se por reunir os termos de relações estabelecidas mais diretas com as palavras-chave utilizadas no levantamento de dados desta pesquisa: “assessment”, “wastewater treatment” e “sustainability”, sendo esta última melhor representada na rede pelo termo “sustainable development”. O *cluster* azul engloba itens conexos aos recursos hídricos, como: “watertreatment”, “waterquality”, “watersupply”, “waterconservation” e “climatechange”. Por fim, o *cluster* vermelho aglomera alguns termos relacionados à gestão do tratamento de esgoto: “performance assessment”, “procedures”, “water management” e “controlled study”.

Cabe salientar que os termos “effluents”, “sewage” e “wastewater” são palavras comumente utilizadas como referência ao termo esgoto. No entanto, dentre esses termos, o mais utilizado nas pesquisas analisadas foi o termo “wastewater”, com uma ocorrência em 50% dos artigos selecionados. Das palavras-chave analisadas como um todo, apenas duas não possuem conexão direta com o tema: cobre e carvão, no entanto, possuem relação com algumas análises do tratamento de esgoto.

4.4. Análise dos principais artigos

Como apresentado anteriormente, alguns autores se destacam nas suas publicações sobre o assunto. Alguns trabalhos destacam-se pela quantidade de citações e/ou alto “link” definido pelo software *VOSviewer*. Conhecer os artigos mais citados e importantes sobre o tema ajuda a avaliar se a produção científica tem sido feliz na escolha das suas pesquisas. Na Tabela 3 constam alguns dos principais artigos relacionados ao tema da sustentabilidade em ETEs.

Alguns dos artigos dos principais autores já citados, mostrados na Figura 6 e na Figura 5, Maria Molinos-Senante e Xu Wang, também fizeram parte dos artigos escolhidos e mostrados na Tabela 3. A maioria dos artigos selecionados são de 2015 e 2016, pois esses artigos tendem a ser mais citados por serem mais antigos, quando comparados com artigos de 2019 que podem ser citados apenas pelos artigos escritos em 2019 e 2020, por exemplo.

TABELA 3 – Principais artigos sobre o tema no período de 2015-2020.

Título	Autores e ano	Objetivo	Nº de Citações	Link VOS-Viewer	Periódico
Sewage sludge disposal strategies for sustainable development	Małgorzata Kacprzaka, Ewa Neczaja, Krzysztof Fijałkowska, Anna Grobelaka, Anna Grossera, Małgorzata Worwaga, Agnieszka Rorata, Helge Brattebo, Åsgeir Almåsc, Bal Ram Singhc (2017)	Desenvolve uma revisão voltada para as soluções existentes de gestão de lodo de esgoto em termos da sustentabilidade, considerando, principalmente, a Avaliação de Ciclo de Vida como metodologia para tomada de decisão.	185	1	<i>Environmental Research</i>

Multi-criteria group decision-making based sustainability measurement of wastewater treatment processes	Jingzheng Ren, Hanwei Liang (2017)	Desenvolver uma forma de avaliação de sustentabilidade com multicritérios sobre o tratamento de águas residuárias para auxiliar na tomada de decisão.	23	5	<i>Environmental Impact Assessment Review</i>
Eco-efficiency assessment of wastewater treatment plants using a weighted Russell directional distance model	María Molinos-Senante, Germán Gemar, Trinidad Gómez, Rafael Caballero, Ramón Sala-Garrido. (2016)	Nesse estudo foi analisada a ecoeficiência das estações de tratamento de efluentes considerando também a remoção de poluentes e a produção de gases de efeito estufa.	60	2	<i>Journal of Cleaner Production</i>
Probabilistic evaluation of integrating resource recovery into wastewater treatment to improve environmental sustainability	Xu Wang, Perry L. McCarty, Junxin Liu, Nan-Qi Rend, Duu-Jong Lee, Han-Qing Yuf, Yi Qiang, and Jiuhui Qu (2015)	Neste trabalho é conduzido um cálculo de benefício ambiental líquido para avaliar o tratamento de efluentes para vários cenários em 50 países.	50	3	<i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America</i>
Sustainability assessment of tertiary wastewater treatment technologies: a multi-criteria analysis	K. V. Plakas, A. A. Georgiadis and A. J. Karabelas (2016)	Tem o objetivo de desenvolver uma análise multicritério para escolher a melhor tecnologia de tratamento de esgoto para que se possa ocorrer o reúso do efluente tratado.	28	1	<i>Water Science and Technology</i>
Benchmarking wastewater treatment plants under an eco-efficiency perspective	Yago Lorenzo-Toja, Ian Vázquez-Rowe, María José Amores, Montserrat Termes-Rifé, Desirée Marín-Navarro, María Teresa Moreira, Gumersindo Feijoo (2016)	Analisar 22 ETEs da Espanha com base nos critérios de ecoeficiência usando a Avaliação de Ciclo de Vida (LCA).	52	1	<i>Science of the Total Environment journal</i>
Economic and environmental sustainability of submerged anaerobic MBR-based technology as compared to aerobic-based technologies for moderate-/high-loaded urban wastewater treatment	R. Pretel, A. Robles, M.V. Ruano, A. Seco, J. Ferrer (2016)	Neste estudo foi avaliada a sustentabilidade econômica e ambiental para escolha da melhor tecnologia de tratamento de efluentes através da Avaliação de Ciclo de Vida (LAC).	37	3	<i>Journal of Environmental Management</i>

FONTE: Elaboração própria (2020).

Parte dos artigos comentados (cerca de 42,85% dos artigos da Tabela 3) foram publicados nas revistas com maior número de publicações em relação ao tema, revistas mostradas na Figura 4. Cabe salientar que nos artigos escolhidos não houve repetição da revista, ou seja, todos os artigos foram publicados em periódicos diferentes. Como já mencionado, com exceção da revista "*Journal of Cleaner Production*", a quantidade de publicações é bem distribuída entre os periódicos.

Para entender um pouco mais a proposta dos principais artigos publicados na temática sustentabilidade e tratamento de efluentes são apresentados a seguir seus pontos mais relevantes. De acordo com Ren & Liang (2017), vários estudos foram realizados para investigar e comparar processos diferentes de tratamento de esgotos, e duas maneiras foram as que predominaram: Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e Análise de Decisão Multicritério, sendo a ACV a metodologia mais popular (Ren & Liang, 2017). Esta metodologia, segundo Hellweg & Canals (2014), possui a capacidade de quantificar os impactos ambientais ligados a todo o ciclo de vida de bens e produtos, bem como pela variedade de categorias ambientais que podem ser monitoradas.

Quanto aos principais trabalhos selecionados, no primeiro deles, o trabalho de Kacprzaka *et al.* (2017), os autores utilizam a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida de forma a avaliar ambiental, técnica, social e economicamente. Os três pilares da sustentabilidade possuem critérios para selecionar a melhor tecnologia de tratamento e destinação do lodo de esgoto. Existem 14 critérios para escolha da tecnologia, dos quais: 5 são sociais, 4 são econômicos e 5 são ambientais. Os critérios sociais estão ligados a proteger a saúde e segurança pública, minimizar a perturbação da comunidade e

o requerimento de terra. Já os ambientais, a maior eficiência energética, emissão no local e produção de resíduos secundários. No caso dos econômicos, *status* da tecnologia e acessibilidade.

Outro dos principais artigos, apresentados na Tabela 3, é o artigo de Ren & Liang (2017). De acordo com esse artigo, o objetivo da ferramenta proposta é auxiliar os tomadores de decisão através da seleção de uma tecnologia mais sustentável através de uma Análise de Decisão Multicritério. Essa metodologia consiste em uma técnica que permite decisões pautadas nos critérios considerados relevantes para o problema pelos agentes decisores, em que a importância dos critérios é definida por estes agentes, em um processo interativo com outros atores técnico-políticos, através de uma técnica quali-quantitativa. Considerando o estudo de Ren & Liang (2017), esses especialistas testaram a metodologia em quatro tecnologias de tratamento diferentes. Foram propostos, no trabalho, 10 critérios nos pilares econômico, técnico, sócio-político e ambiental, são esses critérios: custos de manutenção e operação, custo de implantação, efeitos na melhoria da qualidade da água, área ocupada, simplicidade de operação, maturidade, aceitação do público, suporte governamental, confiabilidade e empregos adicionados. Neste artigo de 2017 se usa o modelo de *Fuzzy* pois, nem sempre se possui dados precisos, logo, esse modelo trabalha com a imprecisão e a ambiguidade do julgamento humano.

No trabalho de Molinos-Senante *et al.* (2016) aplicou-se o modelo de distância direcional de Russell ponderado para estimar a ecoeficiência de uma amostra de estações de tratamento de águas residuárias reais. Essa ecoeficiência é o índice entre o valor dos produtos ou serviços e os impactos ambientais causados, seja pela atividade econômica

seja pelo consumo de recursos. Esse índice implica na remoção de mais poluentes de águas residuárias incorrendo em uma economia nos custos e uma menor emissão dos gases de efeito estufa (Gómez *et al.*, 2018). Considerando o trabalho de Molinos-Senante *et al.* (2016), a abordagem utilizada na pesquisa permitiu obter um escore de ineficiência para cada critério envolvido no modelo proposto. O primeiro objetivo deste trabalho é avaliar a ecoeficiência de algumas ETEs e o segundo objetivo é explorar os fatores que afetam as análises de eficiência. Esse modelo foi utilizado em 30 ETEs espanholas. Nesse artigo de 2016 são utilizados parâmetros como custos de operação e manutenção, quantidade de matéria orgânica removida, quantidade de sólidos suspensos removidos e gases do efeito estufa produzidos nas ETEs.

Wang *et al.* (2015) utilizaram um modelo que calcula o Benefício Ambiental Líquido de uma estação, levando em consideração os impactos gerados e os benefícios para a sociedade. Esse Benefício Ambiental Líquido é obtido considerando os ganhos totais com a integração da captura de recursos e com melhores práticas de tratamento de águas residuais, menos os efeitos ambientais adversos dessas ações. Wang e seus colaboradores criaram vários cenários para 50 países e houve discussões, mostrando que recuperação de recursos pode ser um benefício maior para países desenvolvidos que para países em desenvolvimento. Além disso, no trabalho de 2015, se utilizou o método estatístico de Monte Carlo para análise dos cenários e do benefício. Esses pesquisadores também concluíram que os países em desenvolvimento devem ter uma gestão diferente dos países desenvolvidos, ou seja, ter uma gestão mais específica para sua situação e não replicar as estratégias utilizadas pelos países

desenvolvidos. Ainda sobre o trabalho de Wang *et al.* (2015), utilizou-se como parâmetros a emissão de gases do efeito estufa, a energia consumida, o uso de produtos químicos, o reaproveitamento de bioenergia, a reciclagem do lodo e a remoção de estruvita.

Considerando o trabalho de Plakas *et al.* (2016), é definida uma metodologia do tipo Análise de Decisão Multicritério para escolher qual a melhor tecnologia de tratamento de esgoto, além de utilizar o método “Resultado Financeiro Triplo” (TBL) para abordagens de sustentabilidade. Esse estudo avaliou quatro tecnologias de tratamento terciário para o desenvolvimento do reúso de efluentes nas estações. Esta abordagem foi feita junto com os tomadores de decisão da Grécia. No estudo de caso realizado por Plakas e pelos coautores, foram selecionados doze critérios para a implementação da análise multicritério para as necessidades de avaliação da sustentabilidade. Dentre as variáveis escolhidas constam: custo do investimento, custo de operação e manutenção, energia consumida, área requerida, remoção de xenobióticos, impacto de odores, impacto de ruídos, impacto visual, confiabilidade, geração de emprego, complexidade e aceitação do público.

O artigo de Lorenzo-Toja *et al.* (2016) apresenta uma análise de 22 estações espanholas em relação à Avaliação de Ciclo de Vida, aos impactos gerados e à Avaliação de Custo de Ciclo de Vida, sendo a última uma variação da primeira. Os impactos analisados foram o aquecimento global e o potencial de eutrofização. Foi proposto um rótulo ecológico para classificar as estações de tratamento de efluentes. Este trabalho não trata dos três pilares da sustentabilidade, apenas de dois: ambiental e econômico. Foram analisados os principais custos de manutenção e de operação das estações, além de

analisar a estimativa da quantidade de gás carbônico emitido. Outros parâmetros analisados foram a qualidade do efluente lançado, considerando as variáveis de qualidade do efluente final: o fósforo total, o nitrogênio total, a Demanda Bioquímica de Oxigênio final e os Sólidos Suspensos Totais. Esses parâmetros compuseram a análise de impacto em relação à eutrofização.

Pretel *et al.* (2016) utilizaram abordagens como a Avaliação de Ciclo de Vida e a Avaliação de Custo do Ciclo de Vida para comparar as tecnologias de tratamento: biorreatores anaeróbios de membrana (AnMBR), biorreatores aeróbios de membrana (AeMBR) e lodos ativados convencional. Em relação à sustentabilidade ambiental, foram considerados o potencial de aquecimento global e a eutrofização do corpo d'água final como principais impactos do tratamento. Essas abordagens visam projetar as ETEs com determinada tecnologia para o tratamento em escala real, considerando parâmetros-chave que afetam o desempenho do processo. No entanto, a seleção de esquemas apropriados para o tratamento deve considerar não apenas itens econômicos (ou seja, custos de investimento, operação e manutenção) e preocupações ambientais (por exemplo, eutrofização, potencial de aquecimento global, ecotoxicidade marinha, etc.), mas também devem ser abordados aspectos sociais e políticos, logo, esse trabalho não abrangeu todos os pilares da sustentabilidade. Nesse estudo foi observado que a tecnologia anaeróbica de biorreatores de membrana com pós-tratamento de lodos ativados convencionais foi a que se mostrou mais sustentável para afluentes com moderada/alta taxa.

Considerando esses 7 documentos, os artigos de Lorenzo-Toja *et al.* (2016), do Pretel *et al.* (2016) e de Kacprzaka *et al.* (2017) foram os que apresen-

taram a Avaliação de Ciclo de Vida e a Avaliação de Custo do Ciclo de Vida como metodologias de trabalho. Sendo que destes três trabalhos apenas o primeiro considerou aspectos do pilar social da sustentabilidade. Além disso, o primeiro e o terceiro destes trabalhos têm como objetivo a escolha da melhor tecnologia de tratamento para estações que serão construídas. Diferentemente de Lorenzo-Toja *et al.* (2016), que analisou 22 estações existentes.

No que diz respeito à metodologia de Análise de Decisão Multicritérios, os trabalhos que a aplicaram foram o de Plakas *et al.* (2016) e Ren & Liang (2017). Nestes dois artigos foram abordados todos os pilares da sustentabilidade para escolher a melhor tecnologia de tratamento de efluentes para futuras estações. Embora Plakas *et al.* (2016) seja para a escolha da tecnologia de tratamento específica para o tratamento terciário. Já o trabalho de 2017, além da Análise Multicritério, considera também o modelo *Fuzzy* para lidar com dados mais imprecisos e subjetivos.

Assim como os trabalhos de Lorenzo-Toja *et al.* (2016) e Pretel *et al.* (2016), o artigo de Wang *et al.* (2015) não trata do aspecto social. Embora, neste último seja compreensível não mencionar esse aspecto, pois o estudo feito engloba uma escala global, e considera a análise de 50 países, e os dados sociais ligados às ETEs são de difícil mensuração na escala macro. O trabalho de Wang *et al.* (2015) utiliza um modelo pouco comum, o de Benefício Ambiental Líquido, e utiliza a simulação de Monte Carlo.

Por fim, o trabalho de Molinos-Senante *et al.* (2016), tem como metodologia a Ecoeficiência das ETEs, metodologia essa que na maioria dos artigos não aborda os aspectos de impactos ambientais do tratamento, dando ênfase aos fatores técnicos e eco-

nômicos. Porém, no trabalho de Molinos-Senante *et al.* (2016) são abordados os principais impactos ambientais e os aspectos econômicos. Entretanto, os autores não abordam o pilar social das 30 estações analisadas.

Todos os trabalhos analisados na Tabela 3 abordam o tema desta revisão, ou seja, falam sobre a avaliação da sustentabilidade em estações de tratamento de efluentes, porém alguns não analisam todos os pilares da sustentabilidade, mostrando uma avaliação incompleta sobre o tema. Além disso, alguns se diferenciam quanto ao objetivo de escolher a melhor tecnologia de tratamento para estações a serem construídas e outros tiveram o objetivo de mensurar a sustentabilidade de estações existentes.

5. Conclusão

A análise bibliométrica das pesquisas apanhadas na base *Scopus* relativas à sustentabilidade no tratamento de esgotos, do período de 2015 a 2020, indicou que ocorreu um aumento significativo de artigos na temática, com um aumento, até junho de 2020, de 137,5% em relação à produção científica em 2015.

Considerando as publicações e seus países de origem, pode-se verificar que os Estados Unidos e a China lideraram em termos de quantidade de artigos publicados, com cerca de 40% dos 332 artigos. Observa-se que países como o Brasil, Malásia e Índia, que apresentam deficiência na cobertura do saneamento, carecem de estudos que contemplem as suas especificidades, sendo, portanto, importante o alerta para o investimento em pesquisas sobre o tema.

Existe um considerável número de periódicos que têm interesse em publicar as pesquisas sobre sustentabilidade e tratamento de esgotos, o que pode ser visto como ponto positivo sob dois prismas: i) maior divulgação de resultados de pesquisa, os quais podem subsidiar estratégias para tomadores de decisão; e, ii) menor defasagem entre a elaboração e a publicação da pesquisa. O estudo também mostrou que as Ciências Ambientais lideram as pesquisas sobre o tema e poucos autores se destacam nessas pesquisas.

Apesar de existirem diferentes metodologias, como a Avaliação do Ciclo de Vida e a Análise Multicritério, para avaliar a sustentabilidade em Estações de Tratamento de Efluentes, nem todas as dimensões do conceito são abordadas. Isso foi percebido especialmente na omissão do pilar social. Dessa forma, sem a análise conjunta dos pilares social, ambiental e econômico, nota-se que vários estudos não conseguiram avaliar de forma completa e eficaz a sustentabilidade da atividade de tratamento de efluentes. Contudo, embora alguns artigos não tratem de todos os pilares da sustentabilidade, percebe-se uma crescente busca pelo aperfeiçoamento dos trabalhos já publicados, seja pelos mesmos autores seja por outros. Assim, a adaptação dessas metodologias, já consolidadas, com a integração de aspectos sociais e institucionais é imprescindível para uma avaliação mais completa da sustentabilidade dos trabalhos futuros.

O levantamento bibliográfico permitiu que ocorresse uma identificação de algumas lacunas do conhecimento ligadas à sustentabilidade no tratamento de efluentes. E essa identificação é de suma importância, pois sugere possíveis melhorias e pontos a serem melhor abordados nos trabalhos futuros. Uma das lacunas observadas através da aná-

lise dos 7 artigos discutidos neste trabalho foi que apenas 3 artigos (Wang *et al.*, 2015; Lorenzo-Toja *et al.*, 2016; Molinos-Senante *et al.*, 2016) possuem como objetivo a avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento existentes. Os outros 4 trabalhos visam a escolha da tecnologia mais sustentável para uma estação que virá a ser construída. Não apenas neste pequeno grupo de artigos a maioria dos *papers* sobre sustentabilidade no tratamento de efluentes tem como principal finalidade a escolha da tecnologia de um futuro tratamento. Entretanto, são necessárias novas pesquisas com foco na avaliação da sustentabilidade das ETEs atuais e na possibilidade de tornar estes equipamentos mais sustentáveis e eficientes, dentro das condições viáveis. E essa avaliação da situação do tratamento de águas residuárias deve estar integrada com metodologias de auxílio à tomada de decisão, para que, além da mensuração da sustentabilidade no tratamento, possam ser desenvolvidas ações para a melhoria efetiva das ETEs.

Outra lacuna é que dos trabalhos analisados apenas o de Wang *et al.* (2015) conseguiu comparar situações de esgotamento sanitário completamente distintas, pois analisou essa situação em diferentes países. Essa carência de trabalhos com esse foco pode ser justificada, pois a disponibilidade e a obtenção de dados de ETEs, principalmente em países em desenvolvimento, muitas vezes é escassa e inviável considerando a conjuntura desses locais. Porém, a obtenção de dados para uma melhor avaliação da sustentabilidade nesse equipamento é de extrema importância e, por isso, deve ser algo visado pelas companhias e empresas gestoras de estações de tratamento. Uma sugestão de trabalhos futuros é que sejam feitos estudos de casos voltados para a implementação do monitoramento da estação e da

avaliação da sustentabilidade, e que sejam mostradas as melhorias observadas nesse estudo de caso.

Considera-se pertinente para pesquisas futuras o aprofundamento no estudo sobre a eficiência das estações em relação aos aspectos ambientais, econômicos e técnicos, além da valorização dos aspectos sociais na avaliação das ETEs em operação e na concepção de novas instalações. Adicionalmente, ressaltamos a importância da incorporação do tema nas pesquisas dos estudiosos brasileiros.

Agradecimentos

As autoras agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro à realização do estudo.

Referências

- Abreu, P. D.; Rodrigues, M. B. Proposta de arranjo de indicadores para avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto por zona de raízes. *Synergismus Scientifica*, 6(1), 1-8, 2011. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/1250/0>
- Amaral, K. G. C. D.; Aisse, M. M.; Possetti, G. R. C. Avaliação da sustentabilidade no gerenciamento do lodo e biogás, em estação de tratamento de esgotos, utilizando a técnica de ACV. *Revista Ambiente & Água*, 14(5), 2018. doi: 10.4136/ambi-agua.2371
- Araújo, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão*, 12(1), 11-32, 2006. doi: 10.19132/1808-5245121
- Brostel, R. D. C. *Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de Estações de Tratamento de Esgotos*

- Sanitários (ETEs)*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – UnB, 2002.
- Chai C; Zhang D; Yu Y; Feng Y; Wong MS. Carbon footprint analyses of mainstream wastewater treatment technologies under different sludge treatment scenarios in China. *Water*, 7(3), 918-938, 2015. doi: 10.3390/w7030918
- Delanka-Pedige, H. M. K.; Munasinghe-Arachchige, S. P.; Abeysiriwardana-Arachchige, I. S. A.; Nirmalakhandan, N. Wastewater infrastructure for sustainable cities: Assessment based on UN sustainable development goals (SDGs). *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 1-7, 2020. doi: 10.1080/13504509.2020.1795006
- Garrido-Baserba, M.; Hospido, A.; Reif, R.; Molinos-Senante, M.; Comas, J.; Poch, M. Including the environmental criteria when selecting a wastewater treatment plant. *Environmental modelling & software*, 56, 74-82, 2014. doi: j.envsoft.2013.11.008
- Gómez, T.; Gémar, G.; Molinos-Senante, M.; Sala-Garrido, R.; Caballero, R. Measuring the eco-efficiency of wastewater treatment plants under data uncertainty. *Journal of environmental management*, 226, 484-492, 2018. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.08.067
- Hellweg, S.; Canals, L. M. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*, 344, 1109–1113, 2014. doi: 10.1126/science.1248361
- Kacprzak, M. et al. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental research*, 156, 39-46, 2017. doi: 10.1016/j.envres.2017.03.010
- Koseoglu, M. A., Rahimi, R., Okumus, F., Liu, J. Bibliometric studies in tourism. *Annals of Tourism Research*, 61, 180-198, 2016. doi: 10.1016/j.annals.2016.10.006
- Lopes, S.; Costa, M. T.; Fernández-Llimós, F.; Amante, M. J.; Lopes, P. F. A Bibliometria e a Avaliação da Produção Científica: indicadores e ferramentas. In: *Anais do Congresso Nacional de bibliotecários, arquivistas e documentalistas* (No. 11), 2012. Disponível em: <https://www.bad.pt/publicacoes/index.php/congressosbad/article/view/429>
- Lorenzo-Toja, Y.; Vázquez-Rowe, I.; Amores, M. J.; Termes-Rifé, M.; Marín-Navarro, D.; Moreira, M. T.; Feijoo, G. Benchmarking wastewater treatment plants under an eco-efficiency perspective. *Science of the Total Environment*, 566, 468-479, 2016. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.110
- Mannina, G.; Rebouças, T. F.; Cosenza, A.; Sánchez-Marrè, M.; Gibert, K. Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants—a review of the state of the art. *Bioresource technology*, 290, 121814, 2019. doi: 10.1016/j.biortech.2019.121814
- Molinos-Senante, M.; Gémar, G.; Gómez, T.; Caballero, R.; Sala-Garrido, R. Eco-efficiency assessment of wastewater treatment plants using a weighted Russell directional distance model. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1066-1075, 2016. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.057
- Neves, A. P. N.; Ferreira, D. S.; Castro, D. A.; Cavallini, G. S. Avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica em efluente sanitário em função da idade do lodo de reator UASB: um estudo de caso. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 7(4), 449–456, 2019. doi: 10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n4.neves
- Piao, W.; Kim, Y.; Kim, H.; Kim, M.; Kim, C. Life cycle assessment and economic efficiency analysis of integrated management of wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 113, 325-337, 2016. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.11.012
- Plakas, K. V.; Karabelas, A. J.; Georgiadis, A. A. Sustainability assessment of tertiary wastewater treatment technologies: a multi-criteria analysis. *Water Science and Technology*, 73(7), 1532–1540, 2016. doi: 10.2166/wst.2015.630
- Pretel, R.; Robles, A.; Ruano, M. V.; Seco, A.; Ferrer, J. Economic and environmental sustainability of submerged anaerobic MBR-based (AnMBR-based) technology as compared to aerobic-based technologies for moderate-/high-loaded urban wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 166, 45–54, 2016. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.10.004
- Ren, J.; Liang, H. Multi-criteria group decision-making based sustainability measurement of wastewater treatment processes. *Environmental Impact Assessment Review*, 65, 91–99, 2017. doi: 10.1016/j.eiar.2017.04.008
- Schmitt, C. S.; Hayde, C. T. V., Dreher, M. T. Sustentabilidade como vantagem competitiva: uma análise bibliométrica. *Estratégia & Negócios*, 6(2), 157-174, 2013. doi: 10.19177/

reen.v6e22013157-174

The Intergovernmental Oceanographic Commission of United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (IOC & UNESCO). *A Blueprint for Ocean and Coastal Sustainability*, 2011. Disponível em: <[https://tamugir.tdl.org/bitstream/handle/1969.3/28970/interagency_blue_paper_ocean_rioPlus20\[1\].pdf?sequence=1](https://tamugir.tdl.org/bitstream/handle/1969.3/28970/interagency_blue_paper_ocean_rioPlus20[1].pdf?sequence=1)> Acesso em: jan. 2021.

UN – United Nations. *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21*. Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996.

UN – United Nations. *Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development*, 2020. Disponível em: <<https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>> Acesso em: jan. 2021.

UNICEF – United Nations Children’s Fund; WHO – World Health Organization. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities, 2019*. Disponível em: <https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp-report-2019/en/>. Acesso em: fev. 2021.

UNICEF – United Nations Children’s Fund; WHO – World Health Organization. *State of the World’s Sanitation: an urgent call to transform sanitation for better health, environments, economies and societies, 2020*. Disponível em: <<https://washdata.org/sites/default/files/2020-11/UNICEF-WHO-state-of-the-worlds-sanitation-2020.pdf>>. Acesso em: fev. 2021.

Wang, X. et al. Probabilistic evaluation of integrating resource recovery into wastewater treatment to improve environmental sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(5), 1630–1635, 2015. doi: 10.1073/pnas.1410715112.