

Mapeamento de produções científicas (1997–2021) sobre bioaerossóis associados a estações de tratamento de esgoto

Mapping of scientific productions (1997–2021) on bioaerosols associated with wastewater treatment plants

Luiz Vitor da Silva^{1*} , Jéssica Caroline dos Santos-Silva² , Sandro Augusto Rhoden^{1,3} , André Luis Fachini de Souza^{1,4} 

RESUMO

Processos operacionais em estações de tratamento de esgoto (ETEs) resultam na emissão de bioaerossóis que podem conter uma grande variedade de microrganismos com elevado potencial patogênico. O contato e/ou a inalação constante desses bioaerossóis representam reais ameaças à população circundante e aos trabalhadores dessas ETEs. Este estudo apresenta o primeiro mapeamento cienciométrico da base de dados Scopus (Elsevier) acerca das produções científicas sobre emissões de bioaerossóis em ETEs de 1997 a 2021. Os dados bibliográficos para o estudo foram extraídos do banco de dados Scopus, e, aplicando-se o *software* VOSviewer, foram mapeados diferentes indicadores de redes bibliométricas. Os resultados apontaram os periódicos *Science of the Total Environment*, *Water Research* e *Journal of Hazardous Materials* como os de maior impacto nessa base de dados, bem como com o maior número de publicações de pesquisas sobre o tema nas áreas de ciências ambientais e medicina. Entre os trabalhos encontrados, apenas um era brasileiro. Redes colaborativas entre China e Polônia apresentaram o maior número de publicações científicas. Os autores principais mais citados foram Lin Li, Junxin Liu e Ewa Korzeniewska. Entre as publicações encontradas, a tendência são estudos quanto aos riscos de exposição ocupacional e o monitoramento de bioaerossóis emitidos em ETEs como possível fonte de genes com resistência microbiana. Os resultados apresentam um estado da arte de pesquisas sobre bioaerossóis em ETEs e possivelmente servirão de base para outros pesquisadores que se interessem por esse tema, que é de grande relevância na área da saúde pública e ambiental.

Palavras-chave: aerobiologia; ciências ambientais; cienciométrica; poluição do ar; risco à saúde.

ABSTRACT

Operational processes in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) result in the emission of bioaerosols that may contain a wide variety of microorganisms with high pathogenic potential. The contact and/or constant inhalation of these bioaerosols represent real threats to the surrounding population and the workers of these WWTPs. This study presents the first scientometric mapping of the Scopus database (Elsevier) on scientific production on bioaerosol emissions from ETEs from 1997 to 2021. Bibliographic data for the study were extracted from the Scopus database and, by applying the software VOSviewer, different indicators of bibliometric networks were mapped. The results pointed to the journals *Science of the Total Environment*, *Water Research* and *Journal of Hazardous Materials* as having the greatest impact on this database, as well as the largest number of research publications on the subject in the areas of environmental sciences and medicine. Among the works found, only one was Brazilian. Collaborative networks between China and Poland had the highest number of scientific publications. The most cited authors were Lin Li, Junxin Liu e Ewa Korzeniewska. Among the publications found, studies regarding the risks of occupational exposure and the monitoring of bioaerosols emitted in WWTPs as a possible source of genes with microbial resistance are the trending research topics. The results provide a state-of-the-art overview of bioaerosols research in WWTPs and a reference for other researchers interested in this relevant issue within the field of public and environmental health.

Keywords: aerobiology; environmental sciences; scientometrics; air pollution; health risk.

¹Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Instituto Federal Catarinense - Araquari (SC), Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná - Curitiba (PR), Brasil.

³Universidade do Vale do Itajaí - Itajaí (SC), Brasil.

⁴Universidade de Nova York - Nova York, Estados Unidos.

*Autor correspondente: luizvitorasilva@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum

Recebido: 25/10/2021 - Aceito: 13/03/2022 - Reg. ABES: 20210276

INTRODUÇÃO

As partículas de aerossóis presentes na atmosfera terrestre podem ter origem natural ou antropogênica, sendo resultantes de emissão direta ou formadas por processos secundários de transformação (FUZZI *et al.*, 2015). Entre os tipos de aerossóis, há os bioaerossóis, partículas orgânicas suspensas na atmosfera que compreendem todo o material biológico suspenso no ar, incluindo assim bactérias, vírus, fungos e seus derivados, tais como alérgenos, endotoxinas, micotoxinas e outros contaminantes (YAO, 2018).

Os problemas associados à contaminação do ar atmosférico por microrganismos estão tornando-se cada vez mais preocupantes. De acordo com Qin *et al.* (2020), bioaerossóis podem conter elementos patogênicos de alto risco aos seres humanos, os quais podem estar associados a uma grande variedade de microrganismos, incluindo aqueles presentes em fezes humanas.

Alguns processos operacionais em estações de tratamento de esgoto (ETEs) podem emitir bioaerossóis (MICHALKIEWICZ, 2019; KATAKI *et al.*, 2022). Sendo assim, o contato e/ou a inalação constante desses bioaerossóis representam ameaças aos trabalhadores e à população circundante (LI *et al.*, 2021). Estudos recentes alertam sobre o potencial risco de exposição a bactérias resistentes a antibióticos (ZIELIŃSKI *et al.*, 2021), bem como ao vírus SARS-CoV-2 (ALI *et al.*, 2021; GHOLIPOUR *et al.*, 2021).

Dessa forma, estudos apontam a importância do estabelecimento de mecanismos de monitoramento contínuo e eficaz de bioaerossóis nessas áreas, pois é necessário entender a sua geração e emissão a fim de serem desenvolvidos melhores procedimentos de controle e gerenciamento de processos e, assim, prevenir infecções por doenças ocupacionais e endêmicas, além de apontar sinais precoces de possíveis pandemias futuras (LOU *et al.*, 2021; SINGH *et al.*, 2021; KATAKI *et al.*, 2022).

A análise cienciométrica é uma técnica que utiliza métodos quantitativos para descrever, avaliar e monitorar pesquisas científicas publicadas, resultando em grandes mapeamentos de bases de dados de ciência e tornando possível a visualização de estruturas intelectuais e redes colaborativas (OLAWUMI; CHAN, 2018).

A base de dados Scopus está entre as líderes mundiais de bancos de dados científicos, sendo amplamente utilizada como referência em pesquisas e publicações científicas (ZHU; LIU, 2020). É uma base de dados com extensa cobertura de publicações científicas, além de um processo de indexação relativamente rápido, que aumenta a possibilidade de recuperação de publicações mais recentes (GUSENBAUER; HADDAWAY, 2020).

De maneira geral, as palavras-chave dos autores resumem os principais tópicos de um artigo científico e são uma ferramenta que auxiliam indexadores e mecanismos de busca a encontrar artigos relevantes. Com a obtenção do conhecimento e análise de uma rede colaborativa de coautoria, citações e cocitações acumuladas em um tema específico, é possível ter acesso aos principais pesquisadores e redes colaborativas entre países, obtendo as informações das relações estruturais de conectividade teórico-metodológica de um domínio na comunidade científica, podendo, assim, aumentar a produtividade das pesquisas científicas e da colaboração acadêmica (HOSSEINI *et al.*, 2018; DARKO *et al.*, 2019).

O presente estudo apresenta uma análise da produção científica sobre bioaerossóis associados a ETEs por meio do mapeamento das redes bibliométricas, utilizando métodos cienciométricos para avaliar a evolução das publicações científicas na base de dados Scopus, da editora Elsevier, compreendidas

entre 1997 até agosto de 2021, com o objetivo de compreender os padrões, as tendências e a dinâmica temporal desse campo de pesquisa.

METODOLOGIA

Coleta de dados

Definiram-se os descritores “*bioaerosols*” e “*wastewater treatment plants*” como os termos mais atuais e abrangentes entre aqueles relacionados ao tema. Sendo assim, realizou-se uma busca de publicações científicas na base de dados Scopus tendo como critérios a presença desses descritores no título do artigo, no resumo ou nas palavras-chave dos autores e a inclusão temporal de “todos os anos até o tempo presente” (2/9/2021). Por fim, com a seleção dos trabalhos, foi gerado um arquivo .CSV com os metadados bibliográficos dos documentos encontrados para condução da análise cienciométrica.

Mapeamento bibliométrico

O mapeamento da ciência, no presente estudo, foi realizado com a criação de redes por meio da análise cienciométrica de citações diretas de periódicos e documentos (artigos), citação de autores, coautoria entre autores e países e da análise de cocitação de documentos, coocorrência de palavras-chave dos autores e mineração de texto para análise da evolução conceitual, intelectual ou social do campo de pesquisa, descobrindo padrões, tendências, sazonalidade e *outliers*.

O processo de análise bibliométrica ocorreu com auxílio do *software* VOSviewer, um programa livre e de simples operacionalidade. É uma ferramenta capaz de carregar e exportar informações de várias fontes, permitindo a construção e visualização de redes bibliométricas para periódicos, pesquisadores ou publicações individuais, com base em cocitação, acoplamento bibliográfico ou relações de coautoria (DARKO *et al.*, 2019; MORALMUÑOZ *et al.*, 2020).

Uma das funcionalidades do *software* VOSviewer é a mineração de texto, empregada na construção de redes de coocorrência de termos extraídos de dados textuais, como títulos e resumos de artigos (VAN ECK; WALTMAN, 2021). Segundo Pacheco *et al.* (2015), uma análise mais abrangente do perfil temático de publicações científicas pode ser extraída mediante uma análise de tópicos mais recorrentes presentes nos títulos e resumos de publicações científicas. Com vistas a reproduzir esses tópicos pelo recurso de mineração de texto do *software* VOSviewer, foi possível fazer um mapeamento para visualizar padrões e tendências estruturais dos títulos e resumos no portfólio avaliado.

O mapeamento gráfico do *software* VOSviewer apresenta itens avaliados (autores, países, documentos e palavras) na forma de círculos. O tamanho do círculo é determinado pelo seu peso (relevância calculada pelo *software*), logo, quanto maior, mais relevante é o item avaliado. Alguns itens não foram exibidos; isso ocorreu para evitar sobreposições. A cor do item é definida pelo grupo (*cluster*) ao qual pertence. As linhas representam interligações entre os itens; por padrão, são exibidas no máximo 1.000 conexões, que correspondem às interligações mais fortes. Para as análises, foi utilizado um arquivo de dicionário de sinônimos (*thesaurus file*), a fim de convergir para apenas uma expressão qualquer variação de palavras-chave, como abreviações, plural e sinônimos (VAN ECK; WALTMAN, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa na base Scopus com os descritores “*bioaerosols*” e “*wastewater treatment plants*” encontrou 120 publicações científicas, mas duas destas foram excluídas por não apresentarem autoria disponível. Dessa forma, foi obtido um portfólio de 118 documentos, constituído de 106 artigos de pesquisa, sete artigos de revisão de literatura, quatro artigos apresentados em conferências e um artigo de análise de dados.

Evolução das publicações

A primeira publicação científica com referência a bioaerossóis associados a ETEs foi indexada na base de dados Scopus em 1997. A partir de 2015, estabeleceu-se uma tendência crescente (Figura 1), com destaque para o maior número (19) de publicações até o momento, registrado apenas para os oito primeiros meses de 2021. Essa evolução demonstra um crescimento no interesse sobre o tema, o que pode ter sido impulsionado pelo ambiente científico extraordinário proporcionado pela pandemia e pelas evidências da presença do vírus SARS-CoV-2 nos esgotos domésticos e sua possível transmissão via bioaerossóis provenientes de ETEs (ZYOUD *et al.*, 2020; ALI *et al.*, 2021; GHOLIPOUR *et al.*, 2021). Singh *et al.* (2021) destacam a importância desse interesse no surgimento de novas pesquisas que ampliem o entendimento da diversidade de tecnologias de tratamento de efluentes e emissão de bioaerossóis, além do desenvolvimento de técnicas de monitoramento e controle como ferramenta de vigilância epidemiológica a fim de reduzir ou eliminar os riscos de infecção de trabalhadores e moradores da vizinhança.

Citação de periódicos

Foram encontrados 67 diferentes periódicos, mais de 50% publicados nas áreas de ciências ambientais e medicina, compreendendo 46 e 14%, respectivamente. Para a presente análise, foram considerados apenas periódicos com o mínimo de três publicações sobre o tema estudado. Assim, restaram apenas 13 periódicos (Quadro 1). No Quadro 1, esses periódicos são listados com os correspondentes International Standard Serial Number (ISSN), número de publicações e CiteScore 2020. Levando-se em conta o número de publicações, destaca-se o periódico *Science of the Total Environment*, com publicações na base de dados Scopus desde 1972 até o presente momento. É um periódico internacional

multidisciplinar com destaque em publicações de pesquisas na área de ciências ambientais, abrangendo as categorias de engenharia ambiental, gestão e disposição de resíduos, poluição e química ambiental. Além da versão impressa, a revista possui uma versão eletrônica (E-ISSN 1879-1026) e é o periódico com publicações mais recentes sobre o tema estudado.

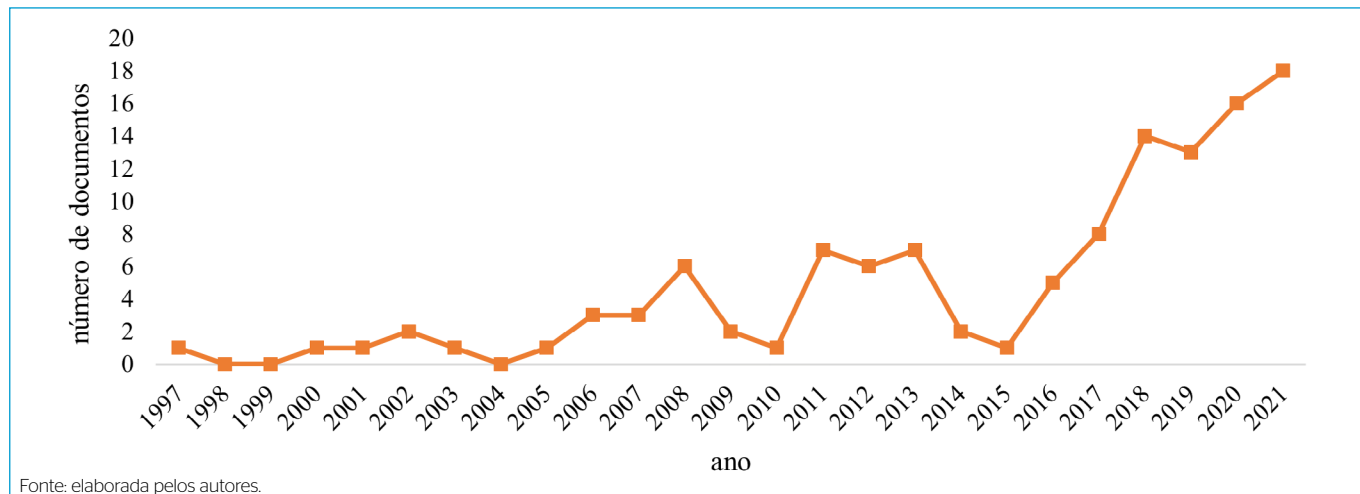
CiteScore 2020 é a métrica da plataforma Scopus que contabiliza a razão entre o total de citações em artigos, resenhas, conferências, capítulos de livro e banners de dados publicados na revista e o total de publicações do mesmo

Quadro 1 - Periódicos com o mínimo de três documentos publicados na área de estudo.

Periódico	ISSN	CiteScore	Publicações
<i>Water Research</i>	0043-1354	15,6	7
<i>Journal of Hazardous Materials</i>	0304-3894	13,4	4
<i>Science of the Total Environment</i>	0048-9697	10,5	8
<i>Chemosphere</i>	0045-6535	10,1	3
<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	0147-6513	8,2	3
<i>Environmental Research</i>	0013-9351	7,9	3
<i>Aerosol and Air Quality Research</i>	1680-8584	5,9	3
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	0944-1344	5,5	7
<i>Aerobiologia</i>	0393-5965	3,8	5
<i>Environmental Monitoring and Assessment</i>	0167-6369	3,6	4
<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	1660-4601	3,4	5
<i>Polish Journal of Environmental Studies</i>	1230-1485	2,4	3
<i>Medycyna Pracy</i>	0465-5893	1,3	3

ISSN: International Standard Serial Number.

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.



Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 1 - Evolução das publicações científicas no período estudado.

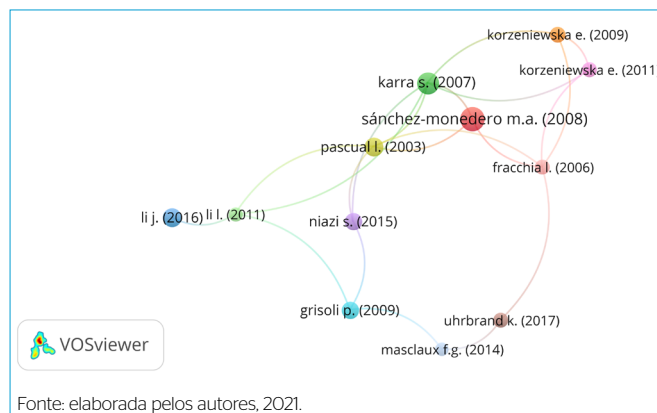
período (entre 2017 e 2020). Para esse índice, foram identificadas, como os periódicos com maiores fatores de impacto da base de dados entre os analisados, as revistas *Water Research*, que publica pesquisas na área de ciências ambientais na categoria de ciência e tecnologia da água, engenharia ambiental, gestão e disposição de resíduos, modelagem ecológica e na área de engenharia na categoria de engenharia civil e estrutural, e o *Journal of Hazardous Materials*, com publicações na área de ciências ambientais e na categoria de engenharia ambiental, gestão e disposição de resíduos, poluição, química ambiental e saúde, tecnologia e mutagênese.

Outro indicador obtido é do SCImago Journal & Country Rank, que utiliza dados da base Scopus, fazendo uma classificação de periódicos e países com diferentes métricas. A classificação por quadrantes (Q1 ao Q4) consiste em um indicador do impacto, influência ou prestígio de um periódico, e publicações classificadas como Q1 possuem o melhor conceito. Diante do Quadro 1, os seis primeiros periódicos, em todas as áreas e categorias, foram conceituados no Q1 no ano de 2020, e os demais periódicos variaram entre Q2 e Q3 entre todas as categorias de publicação de pesquisas para o ano de 2020.

Citação de documentos (artigos)

Entre os 118 documentos avaliados, utilizou-se como critério documentos com o mínimo de 50 citações, com o intuito de se obter uma visualização gráfica reproduzível e de fácil entendimento. Assim, foi possível classificar 13 artigos (Quadro 2), dos quais 12 estão interligados formando uma única rede de artigos citados, conforme pode ser observado na Figura 2.

A publicação mais citada foi a de Sánchez-Monedero *et al.* (2008), com 113 citações. Eles estudaram emissões em seis diferentes ETEs e apontaram o pré-tratamento, os reatores biológicos e os sistemas de deságue de lodo como principais pontos de emissão de bioaerossóis, bactérias e fungos. Por fim, concluíram que plantas que utilizavam sistemas de difusores de ar como fonte de aeração emitem menos bioaerossóis que sistemas de agitação mecânica. Descobertas semelhantes foram relatadas por Niazi *et al.* (2015), autores do quinto artigo mais citado (71 citações). Além de classificarem como maiores fontes de emissão o pré-tratamento e os reatores biológicos, mostraram as variações sazonais de fungos e bactérias presentes nos bioaerossóis.



Fonte: elaborada pelos autores, 2021.
Figura 2 – Rede de artigos mais citados.

Quadro 2 – Artigos com mais de 50 citações.

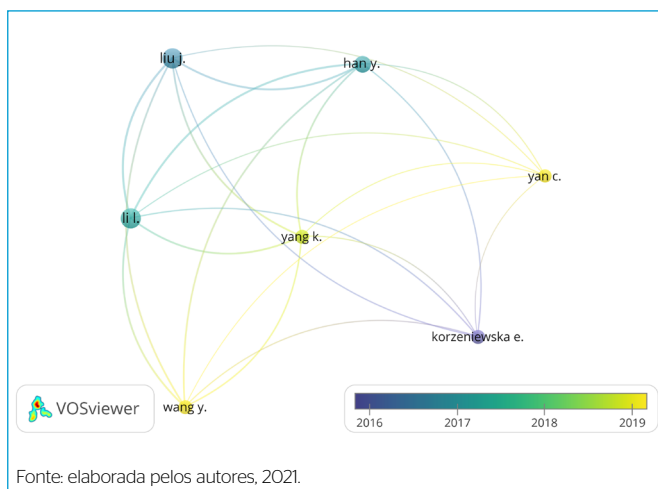
Título	Referência	Citações
"Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants" https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.028	Sánchez-Monedero <i>et al.</i> (2008)	113
"Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site" https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.014	Karra e Katsivela (2007)	96
"Bioaerosol emissions and detection of airborne antibiotic resistance genes from a wastewater treatment plant" https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.030	Li <i>et al.</i> (2016)	81
"Bioaerosol emission from wastewater treatment plants" https://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AAERO.0000006598.45757.7f	Pascual <i>et al.</i> (2003)	77
"Assessment of bioaerosol contamination (bacteria and fungi) in the largest urban wastewater treatment plant in the Middle East" https://link.springer.com/article/10.1007%2F978-3-319-4793-z	Niazi <i>et al.</i> (2015)	71
"Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant" https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.11.001	Grisoli <i>et al.</i> (2009)	69
"Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant" https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.050	Korzeniewska <i>et al.</i> (2009)	61
"Evaluation of gas removal and bacterial community diversity in a biofilter developed to treat composting exhaust gases" https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.10.045	Chung (2007)	60
"Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants: a review" https://fbscience.com/Scholar/articles/10.2741/S159	Korzeniewska (2011)	58
"Assessment of airborne bacteria and noroviruses in air emission from a new highly-advanced hospital wastewater treatment plant" https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.046	Uhrbrand <i>et al.</i> (2017)	59
"Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants" https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.03.016	Fracchia <i>et al.</i> (2006)	57
"Distribution characterization of microbial aerosols emitted from a wastewater treatment plant using the Orbal oxidation ditch process" https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.12.016	Li <i>et al.</i> (2011)	53
"Assessment of airborne virus contamination in wastewater treatment plants" https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.002	Masclaux <i>et al.</i> (2014)	51

Fonte: elaborado pelos autores, 2021.

Citação de autores

No total, 440 autores foram citados. Adotamos como critério ao menos cinco publicações e cinco citações. Assim, sobressaíram apenas sete autores, como pode ser observado na rede de autores da Figura 3.

Na Tabela 1 são apresentados o número total de trabalhos publicados e o de citações para esses sete autores. Destacam-se: Yanjei Wang, da Universidade de Zhengzhou (China), o qual publicou trabalhos envolvendo a caracterização do tamanho das partículas de bioaerossóis transportados pelo vento e a avaliação da inativação dos microrganismos pelo fator radiação ultravioleta do sol; e Cheng Yan, da Universidade de Geociências da China, com publicações científicas sobre a avaliação quantitativa de risco microbiológico em relação a exposição a bioaerossóis em ETEs.



Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

Figura 3 - Rede de citação de autores.

Coautoria

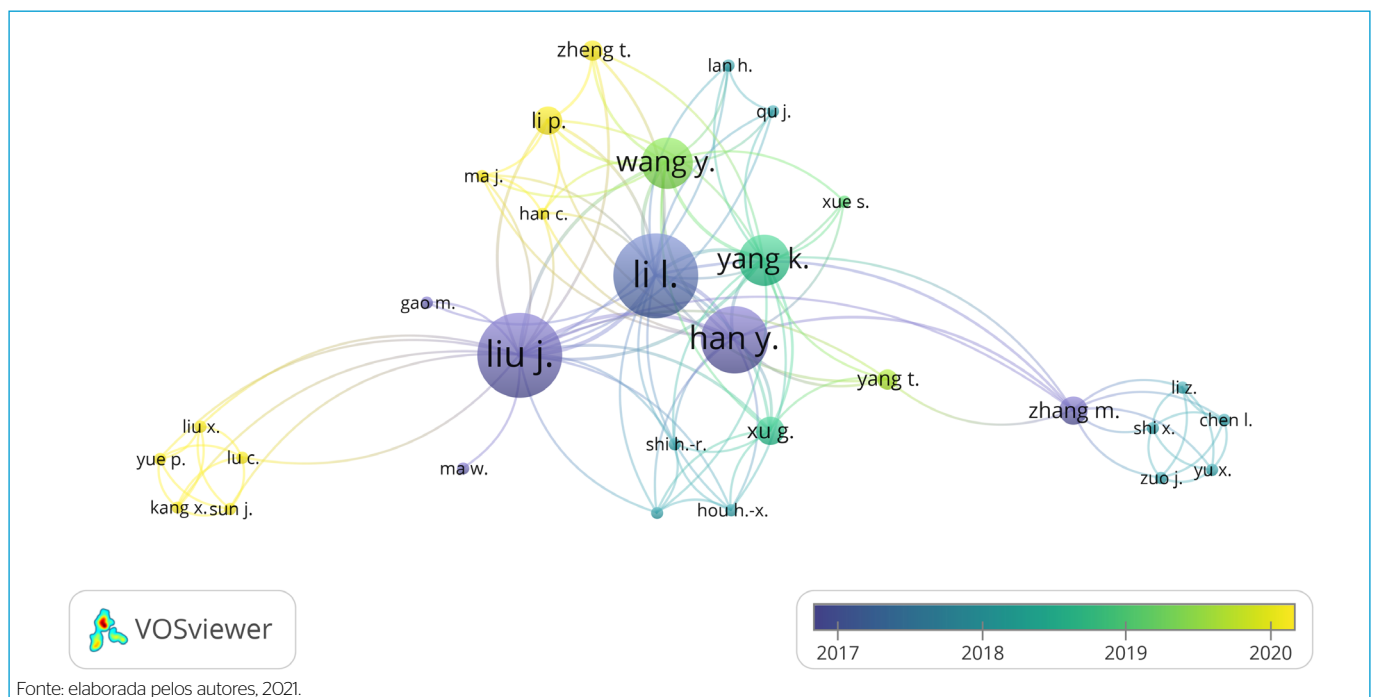
Considerando os 440 autores encontrados, a análise de coautoria em publicações científicas permitiu identificar a maior rede de coautoria, formada por 30 autores, dividida em seis grupos diferentes (Figura 4). Destacam-se os autores centrais Lin Li e Junxin Liu, com o maior número de publicações entre todos os investigados, ambos da Universidade da Academia Chinesa de Ciências, de Pequim, China. Desde 2004, os dois autores contabilizam 75 publicações em que são coautores. Destas, 30 são pesquisas sobre bioaerossóis em ETEs.

Segundo Darko *et al.* (2019), a rede de colaboração científica entre países pode ajudar a localizar os países com forte atuação e colaboração em estudos científicos sobre determinados temas. Vinte e seis países publicaram artigos referentes ao tema (Figura 5). Destes, autores chineses e poloneses destacaram-se com o maior número de publicações. Identificaram-se 16 grupos com coautoria colaborativa entre países, sendo o maior grupo formado por Bolívia, Coreia do Sul, Estados Unidos da América, Índia e Polônia.

Tabela 1 - Autores com mais documentos publicados e citados.

Nome do autor	Identificador Scopus	Documentos	Citações
Li, Lin	56640062400	14	257
Liu, Junxin	55986541900	14	229
Han, Yunping	55489219700	10	182
Korzeniewska, Ewa	11640063100	7	214
Yang, Kaixiong	57191623818	7	118
Wang, Yanjie	57200056224	7	101
Yan, Cheng	55546124400	6	21

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.



Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

Figura 4 - Gráfico da maior rede de coautoria.

Segundo Zhu e Liu (2020), de modo geral os países desenvolvidos estão entre os que possuem um maior número de publicações na base de dados Scopus, enquanto China, Brasil e Irã são os países em desenvolvimento que vêm contribuindo significativamente nos últimos anos. Em relação à classificação de países na área de ciências ambientais, 46% dos periódicos analisados enquadram-se nessa área de publicação de pesquisas. A China é o primeiro país em número de publicação científica, segundo a base de dados SCImago Journal & Country Rank. Nesse mesmo ranking, Brasil e Irã encontram-se em 15º e 18º lugar, respectivamente. São poucos os países que apresentam mais de cinco publicações sobre o tema, no entanto ressalta-se que o Brasil possui apenas uma publicação com a temática bioaerossóis associados a ETEs, o que demonstra uma lacuna no âmbito de pesquisas e publicações no país.

Cocitação

Ao analisar o número de referências citadas entre os 118 documentos avaliados, foram contabilizadas 5.360 referências diferentes. Quando limitados aos documentos citados mais de dez vezes, obtiveram-se apenas quatro documentos (Quadro 3). Estes são também os que formam o maior grupo de artigos cocitados, com temáticas teóricas semelhantes, mas diferentes metodologias de análises.

Cocorrência de palavras-chave entre autores

Foram encontradas 276 palavras-chave dos autores, entre as quais 16 tiveram mais de cinco ocorrências (Figura 6). Identificou-se forte ligação entre as palavras bioaerossóis (*bioaerosols*) e ETEs (*wwtps*), conforme esperado, considerando o critério de pesquisa desse mapeamento, as quais ocorreram 78 e 57 vezes, respectivamente, entre todas as palavras-chave encontradas.

Avaliando-se a cocorrência de palavras-chave de autores, os termos mais utilizados referem-se a pesquisas sobre a presença e identificação dos bioaerossóis em ETE entre os anos de 2012 e 2015. Contudo, a partir de 2015, os termos mais utilizados pelos autores passaram a indicar trabalhos relacionados à avaliação da diversidade microbiana, à avaliação quantitativa de risco microbiano (*quantitative microbial risk assessment — qmra*) para trabalhadores de ETEs e à identificação de genes de resistência a antibióticos (*antibiotic resistance genes — agr*) presentes no esgoto e bioaerossóis.

Nesse sentido, diferentes tipos de tratamento de esgoto estão sendo estudados com foco nas emissões de bioaerossóis, tais como: avaliação de estágios e

potenciais de emissões, estratégias de amostragem disponíveis, fatores de sobrevivência, dispersão e espécies dominantes dos microrganismos nos bioaerossóis e possíveis abordagens de controle (SINGH et al., 2021).

Quadro 3 – Artigos com o maior número de cocitações.

LI, J.; ZHOU, L.; ZHANG, X.; XU, C.; DONG, L.; YAO, M. Bioaerosol emissions and detection of airborne antibiotic resistance genes from a wastewater treatment plant. <i>Atmospheric Environment</i> , v. 124, p. 404-412, 2016. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.030
MASCLAUX, F.G.; HOTZ, P.; GASHI, D.; SAVOVA-BIANCHI, D.; OPPLIGER, A. Assessment of airborne virus contamination in wastewater treatment plants. <i>Environmental Research</i> , v. 133, p. 260-265, 2014. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.002
RANALLI, G.; PRINCIPI, P.; SORLINI, C. Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: culture methods and bio-molecular tools. <i>Aerobiologia</i> , v. 16, p. 39-46, 2000. https://link.springer-com.ez317.periodicos.capes.gov.br/article/10.1023%2FA%3A1007656414770
SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; AGUILAR, M.I.; FENOLL, R.; ROIG, A. Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. <i>Water Research</i> , v. 42, p. 3739-3744, 2008. https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.028

Fonte: elaborado pelos autores, 2021.

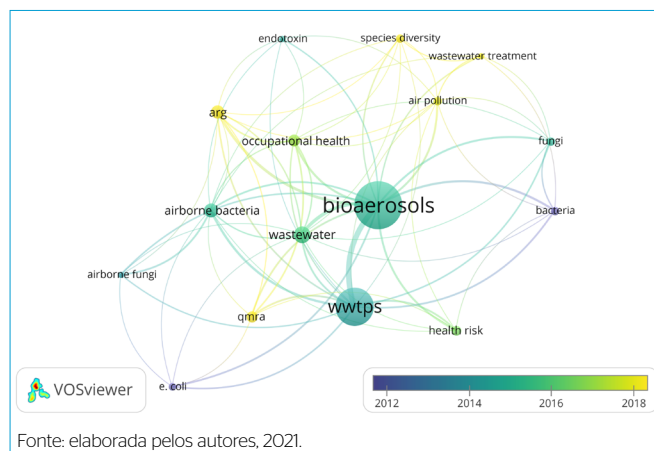


Figura 6 – Gráfico de palavras-chave de autores acima de cinco ocorrências.

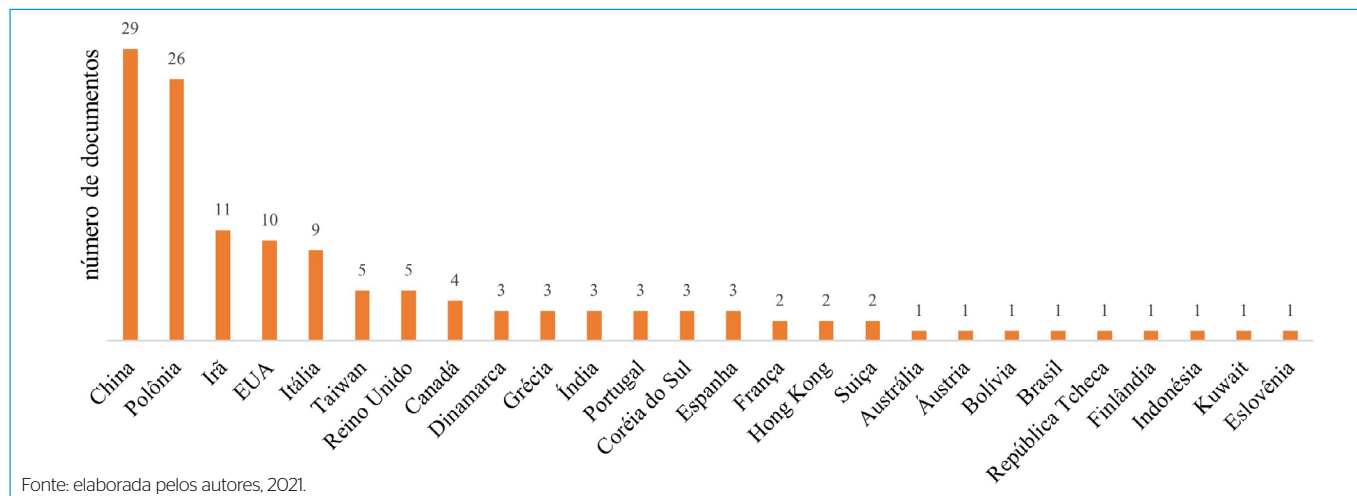


Figura 5 – Gráfico da relação entre países e número de publicações.

Análise de texto de títulos e resumos

Para construir um gráfico do mapeamento dos 3.463 termos encontrados nos títulos e resumos, estipulou-se incluir somente os termos que ocorreram no mínimo 15 vezes. Esse critério reduziu o total a 53 termos. Entre estes, 32 tiveram similaridade de 60%, conforme indicado pelo *software*, e estão divididos em quatro grupos (Figura 7): grupo 1 (vermelho), grupo 2 (verde), grupo 3 (azul) e grupo 4 (amarelo). Os termos compreendidos em cada grupo são apresentados no Quadro 4.

O grupo 1 (vermelho) apresenta como tendência estrutural estudos referentes à quantificação de microrganismos no ar provenientes da aerolização em ETEs, investigando: os pontos de maiores emissões, bem como as variações durante diferentes estações climatológicas do ano; a influência do fator

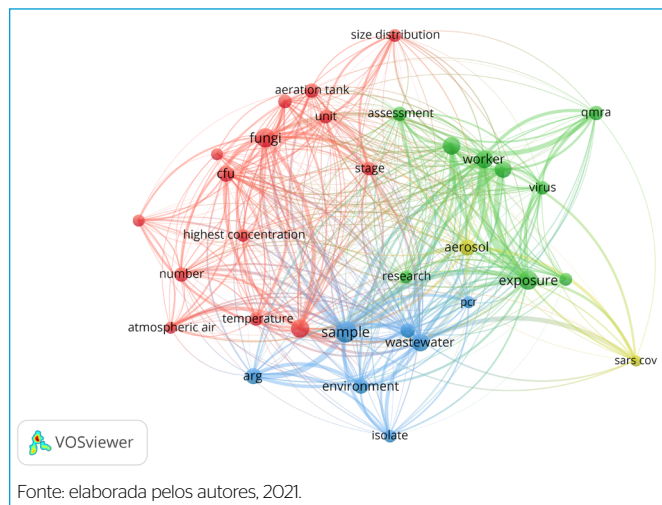


Figura 7 - Gráfico de análise de termos do título e resumo.

temperatura do ar e dispersão; e as concentrações e os tamanhos de partículas. Em sua maioria, esses estudos foram publicados entre os anos de 2014 e 2016.

O grupo 2 (verde) abrange estudos publicados entre 2017 e 2021 e que apresentam uma estrutura que inclui análises de riscos à saúde em decorrência da exposição aos bioaerossóis, principalmente para trabalhadores nas ETEs.

O grupo 3 (azul) inclui pesquisas relacionadas às melhores técnicas de amostragem e avaliação da presença e concentração de microrganismos no ar, envolvendo investigação de genes de resistência a antibióticos no esgoto e no ar, além do seu risco ambiental. Esse grupo apresentou inicialmente (2014) publicações envolvendo técnicas de amostragem e recentemente (2020) técnicas de análises genéticas.

Já o grupo 4 (amarelo) é o menor e mais recente em relação aos termos presentes nos títulos e resumos, diretamente relacionado aos estudos sobre a presença e o risco de infecções pelo vírus SARS-CoV-2 presente nos esgotos e em bioaerossóis provenientes de ETEs.

CONCLUSÕES

Este estudo apresentou, por meio do mapeamento da ciência, a evolução das publicações científicas diante de pesquisas relacionadas à formação de bioaerossóis durante o processo de tratamento de esgoto, buscando-se compreender os mecanismos de formação, composição, os tipos de transmissão de patógenos e os fatores de dispersão, além da manutenção dessas partículas na atmosfera.

No total, foram analisados 118 trabalhos, indexados na base de dados Scopus, com a primeira publicação científica registrada no ano de 1997. Desde então, observa-se tendência de forte crescimento nos últimos anos. Destaca-se o número recorde de publicações ainda nos oito primeiros meses do ano de 2021, o que foi possivelmente impulsionado pelo ambiente científico atual e

Quadro 4 - Grupos de termos presentes nos títulos e resumos com mais ocorrências.

Identificação	Termo	Ocorrências	Termo	Ocorrências
Grupo 1 (vermelho)	<i>fungi</i>	88	<i>unit</i>	28
	<i>microorganism</i>	83	<i>temperature</i>	27
	<i>cfu</i>	50	<i>size distribution</i>	22
	<i>aeration tank</i>	32	<i>highest concentration</i>	20
	<i>number</i>	32	<i>atmospheric air</i>	18
	<i>stage</i>	29	<i>bioaerosol emission</i>	17
	<i>summer</i>	28	<i>mesophilic bacterium</i>	16
Grupo 2 (verde)	<i>exposure</i>	87	<i>qmra</i>	30
	<i>worker</i>	72	<i>virus</i>	27
	<i>health risk</i>	69	<i>endotoxin</i>	24
	<i>risk</i>	53	<i>research</i>	23
	<i>assessment</i>	30		
Grupo 3 (azul)	<i>sample</i>	146	<i>presence</i>	36
	<i>wastewater</i>	69	<i>isolate</i>	23
	<i>arg</i>	50	<i>pcr</i>	17
	<i>environment</i>	41		
Grupo 4 (amarelo)	<i>aerosol</i>	49	<i>sars cov</i>	15

Fonte: elaborado pelos autores, 2021.

pelas evidências da presença do vírus SARS-CoV-2 nos esgotos domésticos e sua possível contaminação via bioaerossóis provenientes de ETEs.

Os resultados destacaram os periódicos *Science of the Total Environment*, *Water Research* e *Journal of Hazardous Materials* em número de publicações e métricas de impacto. Outro aspecto relevante foi que a maioria das publicações pertencia às áreas de ciências ambientais e medicina.

No que diz respeito aos países, a China e a Polônia foram os países líderes em número de publicações, assim como autores dessas nacionalidades. De modo geral, mesmo o Brasil tendo significativa contribuição em publicações na área de ciências ambientais na base de dados Scopus, há uma lacuna evidente no que se refere a produções científicas sobre bioaerossóis associados a ETEs, considerando o atual estágio de conhecimento da comunidade científica.

Atualmente, os estudos ressaltam a preocupação com os riscos associados à exposição de trabalhadores de ETEs a esses bioaerossóis. São pesquisas que focam em avaliar os riscos da exposição ocupacional a microrganismos, bem como a emissão e dispersão de genes de resistência a antibióticos e patógenos emergentes por meio de bioaerossóis gerados no tratamento de esgoto.

Dessa forma, este estudo pode contribuir com pesquisas futuras, podendo ser utilizado como material complementar às revisões bibliográficas e justificativas de pesquisas. Adicionalmente, sugere-se que pesquisas futuras possam incorporar estratégias de controle da emissão de bioaerossóis em processos de tratamento de esgoto e proteção apropriada para trabalhadores. Logo, o risco de transmissão de doenças infecciosas associado aos processos de tratamento de esgoto seria diminuído, contribuindo para o controle de disseminação de doenças, especialmente em situações de risco elevado como em pandemias.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES:

Silva, L.V.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Administração do Projeto, Software, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita — Primeira Redação, Escrita — Revisão e Edição. Santos-Silva, J.C.: Conceituação, Análise Formal, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita — Revisão e Edição. Souza, A.L.E.: Conceituação, Análise Formal, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita — Revisão e Edição. Rhoden, S.A.: Conceituação, Análise Formal, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita — Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

- ALI, B.H.; SHAHIN, M.S.; SANGANI, M.M.M.; FAGHIHINEZHAD, M.; BAGHDADI, M. Wastewater aerosols produced during flushing toilets, WWTPs, and irrigation with reclaimed municipal wastewater as indirect exposure to SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 5, 106201, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106201>
- CHUNG, Y.-C. Evaluation of gas removal and bacterial community diversity in a biofilter developed to treat composting exhaust gases. *Journal of Hazardous Materials*, v. 144, n. 1-2, p. 377-385, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.10.045>
- DARKO, A.; CHAN, A.P.C.; HUO, X.; DE-GRAFT, O.-M. A scientometric analysis and visualization of global green building research. *Building and Environment*, v. 149, p. 501-511, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.059>
- FRACCHIA, L.; PIETRONAVE, S.; RINALDI, M.; GIOVANNA MARTINOTTI, M. Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. *Water Research*, v. 40, n. 10, p. 1985-1994, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.03.016>
- FUZZI, S.; BALTENSPERGER, U.; CARSLAW, K.; DECESARI, S.; DENIER VAN DER GON, H.; FACCHINI, M.C.; FOWLER, D.; KOREN, I.; LANGFORD, B.; LOHMANN, U.; NEMITZ, E.; PANDIS, S.; RIIPINEN, I.; RUDICH, Y.; SCHAAP, M.; SLOWIK, J.G.; SPRACKLEN, D.V.; VIGNATI, E.; WILD, M.; WILLIAMS, M.; GILARDONI, S. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 15, p. 8217-8299, 2015. <https://doi.org/10.5194/acp-15-8217-2015>
- GHOLOPOUR, S.; MOHAMMADI, F.; NIKAEEN, M.; SHAMSIZADEH, Z.; KHAZENI, A.; SAHBAEI, Z.; MOUSAVI, S.M.; GHOBADIAN, M.; MIRHENDI, H. COVID-19 infection risk from exposure to aerosols of wastewater treatment plants. *Chemosphere*, v. 273, 129701, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129701>
- GRISOLI, P.; RODOLFI, M.; VILLANI, S.; GRIGNANI, E.; COTTICA, D.; BERRI, A.; DACARRO, C. Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. *Environmental Research*, v. 109, n. 2, p. 135-142, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.11.001>
- GUSENBAUER, M.; HADDAWAY, N.R. Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources. *Research Synthesis Methods*, v. 11, n. 2, p. 181-217, 2020. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1378>
- HOSSEINI, M.R.; MARTEK, I.; ZAVADSKAS, E.K.; AIBINU, A.A.; ARASHPOUR, M.; CHILESHE, N. Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis. *Automation in Construction*, v. 87, p. 235-247, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.002>
- KARRA, S.; KATSIVELA, E. Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water Research*, v. 41, n. 6, p. 1355-1365, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.014>
- KATAKI, S.; PATOWARY, R.; CHATTERJEE, S.; VAIRALE, M.G.; SHARMA, S.; DWIVEDI, S.K.; KAMBOJ, D.V. Bioaerosolization and pathogen transmission in wastewater treatment plants: Microbial composition, emission rate, factors affecting and control measures. *Chemosphere*, v. 287, parte 3, 132180, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132180>
- KORZENIEWSKA, E.; FILIPKOWSKA, Z.; GOTKOWSKA-PŁACHTA, A.; JANCZUKOWICZ, W.; DIXON, B.; CZUŁOWSKA, M. Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. *Water Research*, v. 43, n. 11, p. 2841-2851, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.050>

- KORZENIEWSKA, E. Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants - a review. *Frontiers in Bioscience*, v. 3, n. 2, p. 393-407, 2011. <https://doi.org/10.2741/s159>
- LI, J.; ZHOU, L.; ZHANG, X.; XU, C.; DONG, L.; YAO, M. Bioaerosol emissions and detection of airborne antibiotic resistance genes from a wastewater treatment plant. *Atmospheric Environment*, v. 124, parte B, p. 404-412, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.030>
- LI, L.; GAO, M.; LIU, J. Distribution characterization of microbial aerosols emitted from a wastewater treatment plant using the Orbal oxidation ditch process. *Process Biochemistry*, v. 46, n. 4, p. 910-915, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.12.016>
- LI, P.; LI, L.; YANG, K.; ZHENG, T.; LIU, J.; WANG, Y. Characteristics of microbial aerosol particles dispersed downwind from rural sanitation facilities: Size distribution, source tracking and exposure risk. *Environmental Research*, v. 195, 110798, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110798>
- LOU, M.; LIU, S.; GU, C.; HU, H.; TANG, Z.; ZHANG, Y.; XU, C.; LI, F. The bioaerosols emitted from toilet and wastewater treatment plant: a literature review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 3, p. 2509-2521, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11297-8>
- MASCLAUX, F.G.; HOTZ, P.; GASHI, D.; SAVOVA-BIANCHI, D.; OPPLIGER, A. Assessment of airborne virus contamination in wastewater treatment plants. *Environmental Research*, v. 133, p. 260-265, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.002>
- MICHALKIEWICZ, M. Wastewater treatment plants as a source of bioaerosols. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 28, n. 4, p. 2261-2271, 2019. <https://doi.org/10.15244/pjoes/90183>
- MORAL-MUÑOZ, J.A.; HERRERA-VIDEIRA, E.; SANTISTEBAN-ESPEJO, A.; COBO, M.J. Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *Profesional de la Información*, v. 29, n. 1, e290103, 2020. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- NI AZI, S.; HASSANVAND, M.S.; MAHVI, A.H.; NABIZADEH, R.; ALIMOHAMMADI, M.; NABAVI, S.; FARIDI, S.; DEHGHANI, A.; HOSEINI, M.; MORADI-JOO, M.; MOKAMEL, A.; KASHANI, H.; YARALI, N.; YUNESIAN, M. Assessment of bioaerosol contamination (bacteria and fungi) in the largest urban wastewater treatment plant in the Middle East. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, n. 20, p. 16014-16021, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4793-z>
- OLAWUMI, T.O.; CHAN, D.W.M. A scientometric review of global research on sustainability and sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, v. 183, p. 231-250, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.162>
- PACHECO, R.C.S.; SELL, D.; VALERIA, A.S.; CECI, F.; FERNANDES, V.; ANDREOLI, C.V. A Revista Engenharia Sanitária e Ambiental no Sistema Brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 1-16, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000132891>
- PASCUAL, L.; PÉREZ-LUZ, S.; YAÑEZ, M.A.; SANTAMARÍA, A.; APRAIZ, D.; CATALÁN, V. Bioaerosol emission from wastewater treatment plants. *Aerobiologia*, v. 19, p. 261-270, 2003. <https://doi.org/10.1023/B:AERO.0000006598.45757.7f>
- QIN, N.; LIANG, P.; WU, C.; WANG, G.; XU, Q.; XIONG, X.; WANG, T.; ZOLFO, M.; SEGATA, N.; QIN, H.; KNIGHT, R.; GILBERT, J.A.; ZHU, T.F. Longitudinal survey of microbiome associated with particulate matter in a megacity. *Genome Biology*, v. 21, n. 1, p. 55, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13059-020-01964-x>
- RANALLI, G.; PRINCIPI, P.; SORLINI, C. Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: culture methods and bio-molecular tools. *Aerobiologia*, v. 16, p. 39-46, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1007656414770>
- SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; AGUILAR, M.I.; FENOLL, R.; ROIG, A. Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. *Water Research*, v. 42, n. 14, p. 3739-3744, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.028>
- SINGH, N.K.; SANGHVI, G.; YADAV, M.; PADHIYAR, H.; THANKI, A. A state-of-the-art review on WWTP associated bioaerosols: Microbial diversity, potential emission stages, dispersion factors, and control strategies. *Journal of Hazardous Materials*, v. 410, 124686, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124686>
- UHRBRAND, K.; SCHULTZ, A. C.; KOIVISTO, A. J.; NIELSEN, U.; MADSEN, A. M. Assessment of airborne bacteria and noroviruses in air emission from a new highly-advanced hospital wastewater treatment plant. *Water Research*, v. 112, p. 110-119, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.046>
- VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. *Manual for VOSviewer version 1.6.17*. Holanda: Leiden University, 2021. 53 p.
- YAO, M. Reprint of bioaerosol: A bridge and opportunity for many scientific research fields. *Journal of Aerosol Science*, v. 119, p. 91-96, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.01.009>
- ZHU, J.; LIU, W. A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, v. 123, p. 321-335, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>
- ZIELIŃSKI, W.; KORZENIEWSKA, E.; HARNISZ, M.; DRZYMAŁA, J.; FELIS, E.; BAJKACZ, S. Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes: an epidemiological threat to workers and environment. *Environment International*, v. 156, 106641, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106641>
- ZYUOD, S.H.; AL-JABI, S.W. Mapping the situation of research on coronavirus disease-19 (COVID-19): a preliminary bibliometric analysis during the early stage of the outbreak. *BMC Infectious Diseases*, v. 20, 561, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05293-z>