

Análise bibliométrica sobre o uso de água residuária na agricultura

Bibliometric analysis on the use of wastewater in agriculture

Análisis bibliométrico sobre el uso de aguas residuales en la agricultura

Recebido: 24/01/2022 | Revisado: 29/01/2022 | Aceito: 16/02/2022 | Publicado: 22/02/2022

Michelle da Silva Marques

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5920-4436>
Universidade José do Rosário Vellano, Brasil
Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Brasil
E-mail: michelle.marques@ifsuldeminas.edu.br

Andreia Aparecida Ferreira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5811-8173>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: profandreiabio@hotmail.com

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7269-2806>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: gabriel.filho@unesp.br

Fernando Ferrari Putti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0555-9271>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: fernando.putti@unesp.br

Bruno César Góes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4409-1720>
Universidade José do Rosário Vellano, Brasil
E-mail: bruno.goes@unifenas.br

Resumo

A escassez de recursos hídricos tem impulsionado o estabelecimento de formas prioritárias para o uso dos recursos de boa qualidade e a adoção de fontes alternativas de água, como a proveniente do reuso. O setor agrícola é o que mais consome água, cerca de 70% da água utilizada no país, destacando-se o uso para a saciedade do seu grande plantel e para a irrigação das culturas. A irrigação teve um fundamental papel no desenvolvimento agrícola do país e para a garantia da segurança alimentar, possibilitando a produção em locais com características edafoclimáticas inadequadas. A irrigação com água residuária tem demonstrado uma alternativa extremamente viável tanto do ponto de vista ambiental, como nutricional para a planta. Este estudo tem como objetivo conhecer a produção científica relacionada ao uso de água residuária na agricultura, sua evolução, áreas de concentração e possíveis lacunas. A amostra é composta por 3555 artigos científicos, desenvolvidos no período entre 1970 e 2021. Essa amostra foi analisada quantitativamente, com apoio de redes bibliométricas. O estudo mostra que o número de publicações sobre o tópico pesquisado tem ampliado nos últimos anos, que a principal área de concentração dos estudos é a área Ambiental seguida pela área de Agrárias e Biológicas, mostrou ainda que os Estados Unidos se destacam no desenvolvimento de estudos sobre a temática, seguidos pela China. O Brasil assume uma posição insipiente na temática. O estudo possibilitou identificar as redes de colaboração no desenvolvimento da produção científica, bem como as lacunas temporais para a produção de novos estudos e discussões sobre o uso de água residual na agricultura.

Palavras-chave: Escassez hídrica; Irrigação; Tratamento de água; Reuso de água.

Abstract

The scarcity of water resources has driven the establishment of priority ways to use good quality resources and the adoption of alternative sources of water, such as that from reuse. The agricultural sector is the one that consumes the most water, about 70% of the water used in the country, with emphasis on the use for the satiety of its large herd and for the irrigation of crops. Irrigation played a fundamental role in the country's agricultural development and in ensuring food security, enabling production in places with inadequate soil and climatic characteristics. Irrigation with wastewater has proved to be an extremely viable alternative both from an environmental and nutritional point of view for the plant. This study aims to know the scientific production related to the use of wastewater in agriculture, its evolution, areas of concentration and possible gaps. The sample consists of 3555 scientific articles, developed between 1970 and 2021. This sample was analyzed quantitatively, with the support of bibliometric networks. The study shows that the number of publications on the researched topic has increased in recent years, that the main area of concentration of studies is the Environmental area followed by the area of Agrarian and Biological, it also showed that the United States stands out in the development of studies on the subject, followed by China. Brazil assumes an incipient position on the subject.

The study made it possible to identify collaborative networks in the development of scientific production, as well as temporal gaps for the production of new studies and discussions on the use of wastewater in agriculture.

Keywords: Water scarcity; Irrigation; Water treatment; Water reuse.

Resumen

La escasez de recursos hídricos ha impulsado el establecimiento de formas prioritarias de aprovechamiento de los recursos de buena calidad y la adopción de fuentes alternativas de agua, como la procedente de la reutilización. El sector agrícola es el que más agua consume, cerca del 70% del agua utilizada en el país, con énfasis en el uso para la saciedad de su gran rebaño y para el riego de cultivos. El riego jugó un papel fundamental en el desarrollo agrícola del país y en la garantía de la seguridad alimentaria, posibilitando la producción en lugares con características edafoclimáticas inadecuadas. El riego con aguas residuales ha demostrado ser una alternativa sumamente viable tanto desde el punto de vista ambiental como nutricional para la planta. Este estudio tiene como objetivo conocer la producción científica relacionada con el uso de aguas residuales en la agricultura, su evolución, áreas de concentración y posibles lagunas. La muestra consta de 3555 artículos científicos, desarrollados entre 1970 y 2021. Esta muestra fue analizada cuantitativamente, con apoyo de redes bibliométricas. El estudio muestra que el número de publicaciones sobre el tema investigado se ha incrementado en los últimos años, que la principal área de concentración de estudios es el área Ambiental seguida del área de Agrario y Biológico, también arrojó que Estados Unidos se destaca en el desarrollo de estudios sobre el tema, seguido de China. Brasil asume una posición incipiente sobre el tema. El estudio permitió identificar redes de colaboración en el desarrollo de la producción científica, así como brechas temporales para la producción de nuevos estudios y discusiones sobre el uso de aguas residuales en la agricultura.

Palabras clave: Escasez de agua; Irrigación; Tratamiento de agua; Reutilización de agua.

1. Introdução

As mudanças climáticas e o crescimento populacional futuro são aspectos que geram dúvidas sobre sua influência na economia, especialmente em relação à produção agrícola e indústria de alimentos (Faria, Perobelli & Souza, 2020). Aliados ao crescimento populacional, a maior concentração de pessoas na zona urbana e o aumento da renda per capita previsto para as próximas décadas devem contribuir significativamente para a ampliação da demanda mundial de alimentos (Saath & Fachinello, 2018).

De acordo com a Food and Agriculture Organization (Fao, 2019) a mudança climática e aumento populacional tem demandado cada vez mais os recursos hídricos que são finitos, a organização tem buscado incentivar os países nos esforços para eficiência hídrica e na busca por disponibilização da água potável para todos.

O aumento de produtividade bem como a ampliação dos espaços agrícolas, contribuíram de forma a evitar a escassez generalizada de alimentos, todavia nos últimos tempos, houve uma expressiva redução do crescimento das áreas agropecuárias e estamos próximos aos limites de expansão, da mesma forma que a ampliação de produtividade significativa não deverá ocorrer. De qualquer forma o maior risco presente para a produção de alimentos no país está associado aos problemas climáticos (Saath et al., 2018).

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico declarou por meio da resolução nº 77, de 1º de junho de 2021 a situação crítica de escassez quantitativa de recursos hídricos na Região Hidrográfica do Paraná com objetivo de estabelecer medidas de caráter preventivo para minimizar possíveis riscos aos usos consuntivos de água, em função do déficit de chuvas Agência Nacional das Águas (Ana, 2021).

O abastecimento humano e a dessedentação animal, de acordo com a Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997), são considerados como usos prioritários da água em situações de escassez. O uso doméstico ou residencial (urbano e rural) e nos setores comercial e de serviços, são o segundo maior uso do País, sendo os maiores usos consuntivos da água, em escala global, os destinados às atividades agropecuárias, o que se explica em função do país possuir alguns dos maiores rebanhos do mundo, tendo seu uso, nas estruturas de dessedentação, criação e ambiência de animais. Temos ainda com destaque para uso de água no país para a indústria de transformação, mineração, termoelétricas e por evaporação líquida de reservatórios (Ana, 2019).

O processo de intensificação da atividade agrícola no Brasil, se iniciou a partir das décadas de 1970 e 1980, em função da expansão das áreas produtivas para regiões com clima desfavorável, bem como aos estímulos governamentais de

desenvolvimento regional e disponibilidade de financiamentos (Ana, 2019). A agricultura é o setor que utiliza a maior quantidade de água no planeta, cerca de 70% da água potável, desta forma, surge a necessidade do desenvolvimento de métodos eficazes para a redução desse uso (Torres, 2019).

O déficit hídrico é um problema atual e com relevância não só no Brasil, mas em todo cenário internacional. No Brasil, em especial no semiárido, onde temos níveis mais expressivos de seca em boa parte do ano, torna-se essencial a adoção de novas soluções, como o reuso de águas residuárias, de forma planejada, que é muita estratégia já adotada com êxito nos países desenvolvidos, para diversos fins, inclusive na agricultura (Ferreira et al., 2019).

A irrigação surge como um importante recurso para superação da escassez de água, possibilitando a produção agrícola nas regiões mais secas ao longo de todo o ano, ou fornecendo de forma suplementar água para as plantas nos períodos de estiagem, garantindo o incremento à produção agrícola, com à obtenção de melhores índices de produtividade.

A irrigação consiste na operação agrícola que disponibiliza água para as plantas nas regiões mais secas ou de forma suplementar nos períodos de estiagem nas regiões mais úmidas. A irrigação contribui para a redução da temperatura do ar e das plantas, reduzindo os efeitos das geadas. Considera-se que a irrigação disponibiliza uma estabilidade para a produção de alimentos, por meio da redução das adversidades (Lima et al., 2020).

A intervenção humana sobre os recursos hídricos de boa qualidade e crescente demanda da produção agrícola, torna necessária a adoção de fontes de água de baixa qualidade como uma importante ferramenta para minimizar o problema da escassez, neste contexto o reuso de água, assume posição de destaque na gestão ambiental (Santos et al., 2020; Cavalcante et al., 2017).

Desta forma, o uso constante do homem sobre os recursos hídricos de boa qualidade e a necessidade de expansão da produção agrícola, tem apontado para a utilização de fontes com água de baixa qualidade como uma importante alternativa, uma vez que se trata de um importante instrumento dentro da gestão ambiental, uma vez adotadas tecnologias apropriadas para sua adequada utilização. A importância do reuso da água é ainda maior em regiões que apresentam instabilidade climática como no Semiárido, apresentando resultados satisfatórios em seu emprego para fins agrícolas, promovendo o uso adequado e maior economia dos recursos hídricos (Santos et al., 2020).

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais através da Deliberação Normativa CGRH-MG N° 65 de 18 de junho de 2020, em seu artigo 2º, estabeleceu as definições para efeito da deliberação “VII – Atividades agrossilvipastoris: cultivos agrícolas, pastagens e silvicultura, estabelecidos em sistemas consorciados ou não.” Em seu artigo 3º estabelece ainda, que a água de reuso, é passível de utilização nas seguintes modalidades:

I – Usos em atividades agrossilvipastoris: fertirrigação de culturas não ingeridas cruas, incluindo culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores, de acordo com as seguintes formas de aplicação:

a) no uso amplo é permitido fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão.

b) no uso limitado é permitido apenas fertirrigação superficial ou localizada, evitando-se qualquer contato da água de reuso com o produto alimentício (CERH-MG, 2020).

Em relação a forma de disposição dos efluentes líquidos a Associação Brasileira de Normas Técnicas (Abnt, 1997) disponibilizou a norma NBR 13969 de 1997, que trata do reuso local e recomenda um planejamento para o reuso seguro e racional, bem como visando a redução de custos de implementação e operacionalização. Recomenda, que sejam previamente definidos: a) os usos previstos; b) volume de esgoto para reuso; c) grau de tratamento necessário; d) sistema para armazenamento e de distribuição; e) manual de operação e treinamento dos responsáveis.

Dada a limitação dos recursos hídricos, o reuso da água é uma importante estratégia (Santos et al., 2018; Cavalcante et al., 2017). A capacidade de depuração do solo é superior ao potencial da água, uma vez que o solo funciona como se fosse um

filtro, promovendo a decomposição da matéria orgânica que esteja presente no efluente tratado. Desta forma, o reuso de efluentes na agricultura fornece além de água, alguns dos nutrientes necessários para a planta, todavia é necessário um constante monitoramento destes resíduos, para evitar que ocorra a contaminação do sistema água-solo-planta (Bertoncini, 2008).

Em relação aos riscos ambientais, alguns cuidados têm que ser dispensados no uso de EDT na agricultura, especialmente em relação à poluição do solo e microbiológica das águas subterrâneas, sendo este último de menor potencial, em função da profundidade de extração, com exceção para os casos em que lençol freático estiver próximo a superfície. Torna-se essencial cuidado com nitratos em águas subterrâneas e a salinização dos solos e aquíferos, sendo necessário um controle dos riscos químicos para os seres humanos, por meio de um tratamento adequados das águas residuais (Santos et al., 2016).

As características do efluente final, demonstram que, sua aplicação pós tratamento, pode melhorar em termos microbiológicos e garantir usos mais restritos do efluente na agricultura. Tal emprego no reuso agrícola desse efluente, necessita de um manejo adequado do solo e do planejamento do volume de irrigação (Torres, 2019). Neste sentido, observada a importância de se conhecer de forma mais aprofundada sobre o tema, o presente estudo tem como objetivo conhecer a produção científica relacionada ao uso de água residuária na agricultura, sua evolução, áreas de concentração e possíveis lacunas.

2. Metodologia

Redes Bibliométricas

A análise bibliométrica é considerada como o estudo quantitativo de um material bibliográfico e tem como principal objetivo fornecer uma visão geral de uma área de pesquisa, podendo contar com diferentes classificações como por artigos, autores e periódicos (Merigó et al., 2017) e são utilizados pelos pesquisadores justamente para mensurar, interpretar e avaliar os resultados obtidos nas buscas realizadas e tratam-se de análises quantitativas para mensuração da produção e disseminação científica (Araújo, 2006).

No presente estudo, utilizou-se o mesmo sistema adotado no estudo para visualizações de redes bibliométricas, o programa *VOSviewer*, que se trata de uma ferramenta de acesso aberto que possui as funcionalidades necessárias para a realização deste tipo de análise (Bouzemrak et al., 2019). O *VOSviewer* é um programa de computador gratuito desenvolvido para a construção e visualização de mapas bibliométricos, se destaca em relação aos demais sistemas em função da qualidade da representação gráfica de mapas bibliométricos, sendo especialmente útil em especial para a exibição e interpretação de grandes mapas (Van Eck et al., 2010).

Para tal, foram elaboradas duas diferentes redes bibliométricas: “Rede bibliométrica com base na autoria de trabalhos sobre a reutilização de água na agricultura entre os anos de 1970 e 2021” demonstrado na Figura 6 e “Rede bibliométrica com base na autoria de trabalhos sobre a reutilização de água na agricultura entre os anos de 1970 e 2021, por ano”, apresentado na Figura 7.

Análise dos Dados

Os dados que foram utilizados para análise bibliométrica foram obtidos da base de dados da plataforma Scopus em janeiro de 2022, na busca por estudos sobre a utilização da água residuária na agricultura. Para tal, foram realizadas diversas consultas na base de dados com diferentes combinações de palavras-chaves com o objetivo de abranger o maior número de trabalhos que tratam do tema.

A plataforma Scopus possui uma base de dados multidisciplinar consolidada, contribuindo com a pesquisa científica comportando trabalhos de referências nas mais diversas áreas do conhecimento, o que permite uma ampla pesquisa na busca pelos trabalhos mais recentes. Sendo assim, a base de dados foi criada pela editora Elsevier em 2004 hospedando trabalhos de cunho científico datados desde 1960, contendo artigos, resumos, normas técnicas entre outros (Paula et al., 2017).

Nesse sentido, foram adotadas como palavras-chaves para busca os seguintes termos: “*treated domestic sewage*”, “*domestic sewage*”, “*wastewater*”, “*water reuse*”, “*irrigation*” e “*agriculture*”, com os operadores booleanos “AND” e “OR”. Os resultados obtidos e suas respectivas combinações conforme estão representados na Tabela X, a seguir:

Tabela 1 – Combinações de palavras-chaves utilizadas para busca na base de dados da Scopus de estudos sobre a utilização de água residuária na agricultura.

Combinações de palavras-chaves	Total
treated AND domestic AND sewage	1.433
domestic AND sewage	10.547
Wastewater	260.915
water AND reuse	26.747
Reuse	116.102
Irrigation	170.741
Agriculture	379.030
(treated AND domestic AND sewage) AND (irrigation)	242
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage)) AND (irrigation)	713
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage) OR (wastewater)) AND (irrigation)	9.659
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage) OR (wastewater) OR (water AND reuse)) AND (irrigation)	10.585
(treated AND domestic AND sewage) AND (agriculture)	178
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage)) AND (agriculture)	896
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage) OR (wastewater)) AND (agriculture)	10.066
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage) OR (wastewater) OR (water AND reuse)) AND (agriculture)	10.667
(treated AND domestic AND sewage) AND (irrigation AND agriculture)	88
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage)) AND (irrigation AND agriculture)	230
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage) OR (wastewater)) AND (irrigation AND agriculture)	3.343
((treated AND domestic AND sewage) OR (domestic AND sewage) OR (wastewater) OR (water AND reuse)) AND (irrigation AND agriculture)	3.555

Fonte: Autores.

Durante a busca de trabalhos científicos na plataforma da base de dados da Scopus utilizando os referidos termos citados anteriormente, foram considerados apenas a ocorrência dessas palavras contidas em pelo menos uma das seções: título do trabalho, resumo ou em palavras-chaves, refinando a busca de estudos sobre o tema.

Sendo assim, foram encontrados um total de 3.555 trabalhos científicos, ao final da combinação dos termos de busca, que tratam sobre o assunto da reutilização da água na agricultura na plataforma Scopus, com publicações datadas entre 1970 e 2021. Os trabalhos foram analisados em relação ao volume de publicação anual, quanto ao tipo de publicação do documento, área de concentração, país de origem da publicação e os principais periódicos que contemplem publicações do referido tema, além da criação da rede bibliométrica dos principais autores de estudo sobre o uso da água residuária na agricultura.

Os dados foram obtidos por meio de planilhas eletrônicas, do software Excel bem como sua utilização para plotagem de gráficos, além do software VOSviewer para análise bibliométrica e plotagem dos gráficos de rede de autoria.

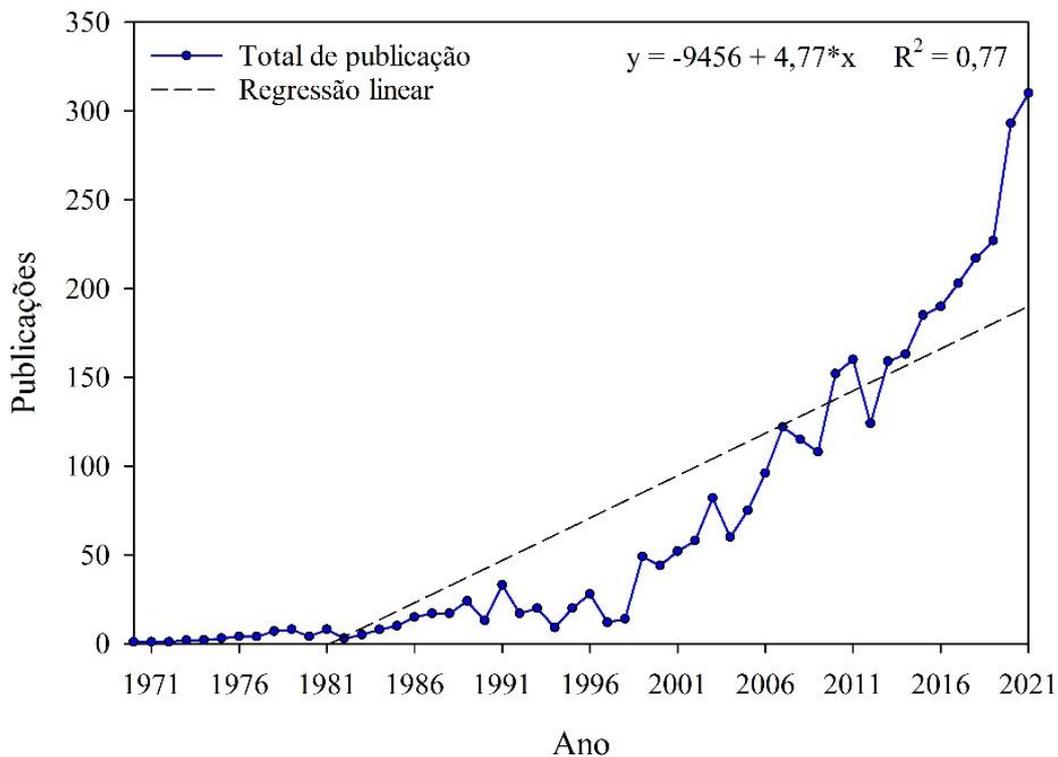
3. Resultados e Discussão

Na Figura 1, tem-se a representação da linha do tempo das publicações sobre o tema no mundo. A primeira publicação sobre o tema apareceu em 1970, crescendo de forma gradual no decorrer das décadas seguintes, fato que coincide com o processo de crescimento agrícola no Brasil. O processo de intensificação da atividade agrícola no país, se iniciou a partir das décadas de

1970 e 1980, em função da expansão das áreas produtivas para regiões com clima desfavorável, bem como aos estímulos governamentais de desenvolvimento regional e disponibilidade de financiamentos (Ana, 2019).

As publicações passaram a crescer consideravelmente no final da década de 90, em 1999 houveram 49 (quarenta e nove) publicações no ano. Nos anos seguintes o volume de publicações se ampliou de forma acelerada, em 2006 já eram registradas 96 (noventa e seis) publicações/ano e dez anos depois, em 2016, já eram 190 (cento e noventa) publicações. No período de 2020 e 2021, registrou-se uma ampliação nas publicações anuais, sendo registradas respectivamente, 293 (duzentos e noventa e três) e 310 (trezentas e dez) publicações relacionadas ao reuso de água na agricultura.

Figura 1 – Volume de publicação trabalhos científicos sobre reutilização da água na agricultura entre os anos de 1970 e 2021.



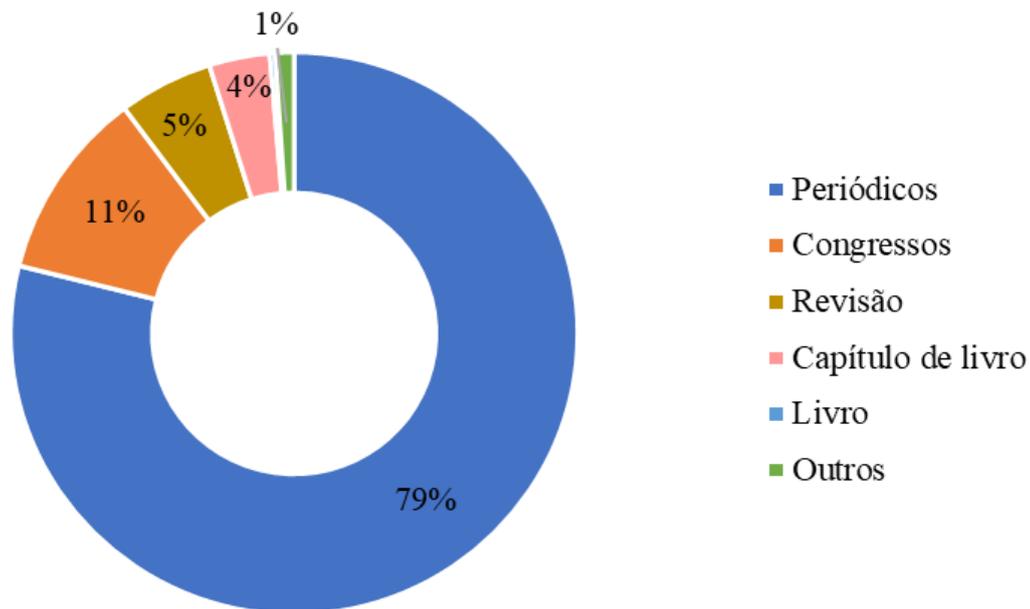
Fonte: Autores.

Do ponto de vista ambiental, a intervenção humana sobre os recursos hídricos de boa qualidade e crescente demanda da produção agrícola, torna necessária a adoção de fontes de água de baixa qualidade como uma importante ferramenta para minimizar o problema da escassez, neste contexto o reuso de água, assume posição de destaque na gestão ambiental (Santos et al., 2020; Cavalcante et al., 2017).

O uso de efluentes na agricultura tem um importante papel, dada sua composição e valores nutricionais. O uso da fertirrigação com efluente tratado é considerado um processo sustentável e eficiente quando associado ao processo mais comum de irrigação, com água potável ou bruta. Todavia seu uso de forma inadequada pode significar riscos à saúde humana, sendo necessário respeitar o tempo necessário para manter contato direto com a planta, minimizando assim o risco de contaminação após a suspensão da irrigação (Torres, 2019).

Considerando-se os tipos de publicações realizadas, observa-se que a maioria são as publicações em periódicos, que corresponde a grande maioria dos trabalhos publicados na área analisada, correspondendo à 79% (setenta e nove por cento), temos na sequência as publicações em congressos, com 11% (onze por cento), revisão com 5% (cinco por cento), capítulo de livro 4% (quatro por cento) e livro 1% (um por cento). Conforme Figura 2:

Figura 2 – Total de publicação de trabalhos científicos sobre reutilização da água na agricultura por tipo de documento.

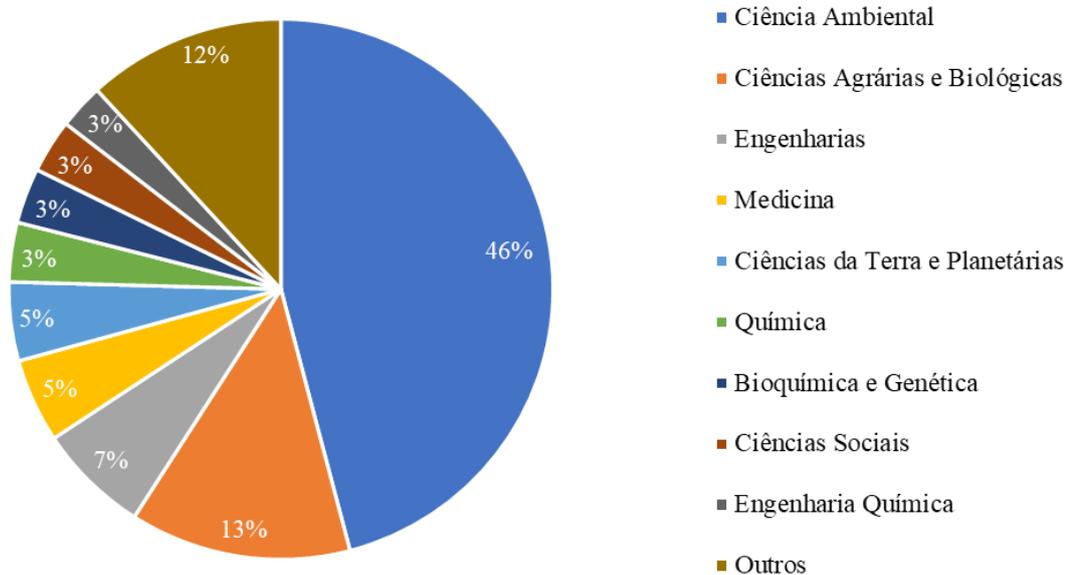


Fonte: Autores.

Bertoncini (2008) acredita que a escassez de água potável, bem como os inúmeros conflitos e a cobrança pelo uso vem impulsionando a tomada de decisões que envolvam o tratamento de água, esgoto e resíduos e o reuso de água. As estações de tratamento de esgoto têm um papel fundamental do tratamento dos resíduos domésticos. Souza (2015) observou em condições experimentais que a ETE avaliada foi eficiente na capacidade de depuração de matéria orgânica e nutrientes, inferiu ainda que o efluente final tratado possuía elementos de importância agrícola tais como nitrogênio, fósforo, cálcio e potássio, matéria orgânica e sais, que atendem as determinações da NBR 13.969/1997 (Abnt, 1997) para reutilização na agricultura.

Desta forma, embora grande parte dos estudos apontem para os benefícios, em especial para a nutrição das plantas e solo, boa parte dos estudos se concentram na área de ciência ambiental, cerca de 46% (quarenta e seis por cento) do total, na sequência temos as áreas de Ciências Agrárias e Biológicas, que corresponde a cerca de 13% (treze por cento) dos estudos. Na sequência temos as áreas de Engenharias com 7% (sete por cento) e Ciências da Terra e Planetárias e Medicina, ambas com 5% (cinco por cento), seguidas das áreas de Engenharia Química, Ciências Sociais, Bioquímica e Genética, Química, com 3% (três por cento) cada, as demais áreas totalizam 12% (doze por cento), conforme Figura 3:

Figura 3 - Área de concentração dos estudos científicos sobre reutilização da água na agricultura no período entre 1970 e 2021.



Fonte: Autores.

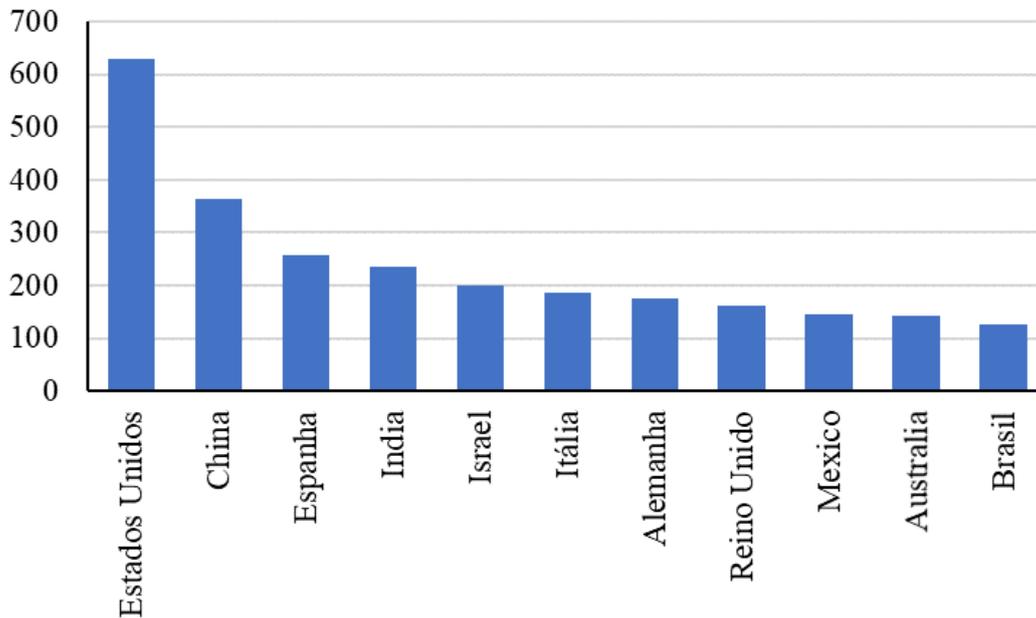
Na Figura 4, temos a produção científica sobre a reutilização de água na agricultura por país. Os Estados Unidos aparecem como o país com maior produção científica, com 629 (seiscentos e vinte e nove) publicações na área. O que reflete de certa forma sua atuação em ações e legislação sobre o tema. Estados Unidos, Japão, Austrália e alguns países da União Europeia registram inúmeras instalações voltadas para o tratamento para reuso da água. Embora a produção científica tenha crescido nas últimas décadas, muitos países, inclusive o Brasil, possuem uma legislação inadequada em relação ao reuso ou não possuem regulamentação alguma (Bertocini, 2008).

Na sequência temos a China, com uma produção bem menor, de 365 (trezentos e sessenta e cinco), o que reflete o aumento do investimento e ampliação da produção científica ao longo dos anos. No período de 2000 a 2012 os gastos com P&D em relação ao foram o maior percentual no grupo do BRICS, outra distinção do país é que a fonte principal de financiamento são as empresas e não governamentais (Fernandes; Garcia; Cruz, 2015).

Na sequência temos Espanha, Índia e Israel, que ficou na quinta posição. O país possui uma ampla experiência em reuso de água na agricultura há décadas, e tecnologias de tratamento e aplicação avançadas, enquanto no Brasil a atividade é exercida de empírica e não normatizada, sendo necessário que o país desenvolva tecnologias condizentes com a capacidade técnica, socioeconômica e edafoclimáticas do país (Rocha, 2010).

O Brasil ocupa a 11ª (décima primeira) posição em produção científica na área de reuso de água na agricultura, o estágio do país ainda é insipiente na temática. Apenas 27% (vinte e sete por cento) dos estados da Federação possuem alguma legislação estadual ou municipal que ampare as práticas (Moura et al., 2020). Das leis ou normativas existentes verificadas, 3 (três) são na esfera estadual e 4 (quatro) municipais, o que é pouco representativo, considerando que existe normativas em somente 4 (quatro) dos 5.570 (cinco mil, quinhentos e setenta) municípios existentes, correspondendo a menos de 1% (um por cento).

Figura 4 – Total de publicação sobre reutilização da água na agricultura no período entre 1970 e 2021 de acordo com o país de origem.

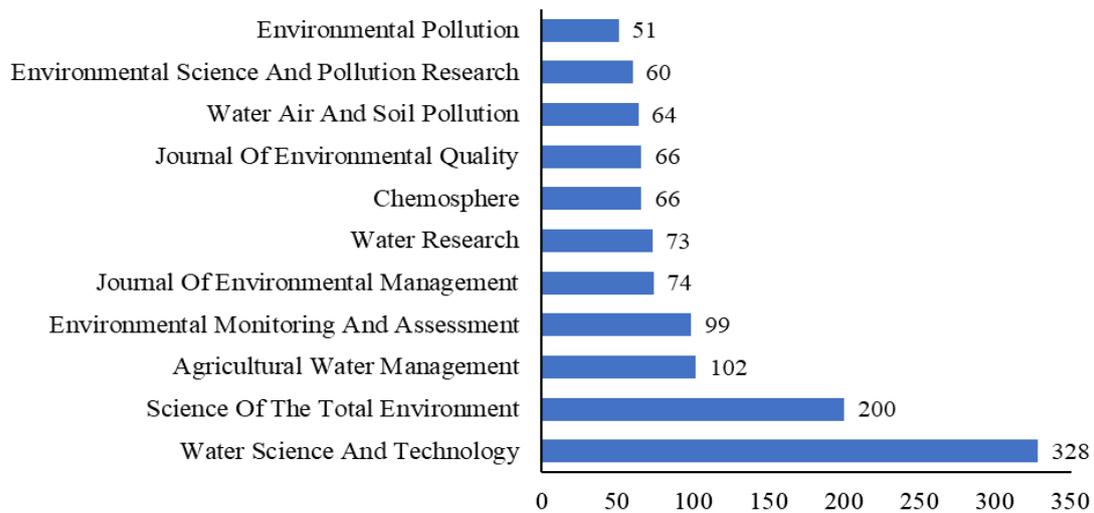


Fonte: Autores.

A produção científica mundial é gerida por um total de 149 (cento e quarenta e nove) diferentes periódicos, ou seja, com uma média de 23,85 (vinte e três inteiros e oitenta e cinco centésimos) publicações/revista. O periódico que possui o maior volume de publicações sobre o tema é a *Water Science and Technology*, que possui 328 (trezentos e vinte e oito) artigos sobre o tema, correspondendo a 9,23% (nove inteiros e vinte e três centésimos por cento) da produção mundial. A *Water Science and Technology* que é vinculado à revista *IWA Publishing*, que publica artigos revisados por pares, na área de ciência e tecnologia de águas residuais e também relacionado com a gestão de águas pluviais e possui sede em Londres, Reino Unido. (IWA Publishing).

Na sequência temos os periódicos *Science Of The Total Environment*, com 5,63% (cinco inteiros e sessenta e três centésimos por cento), *Agricultural Water Management*, 2,87% (dois inteiros e oitenta e sete centésimos por cento) e *Environmental Monitoring And Assessment*, 2,78% (dois inteiros e setenta e oito centésimos por cento), seguidos dos demais periódicos, conforme Figura 5.

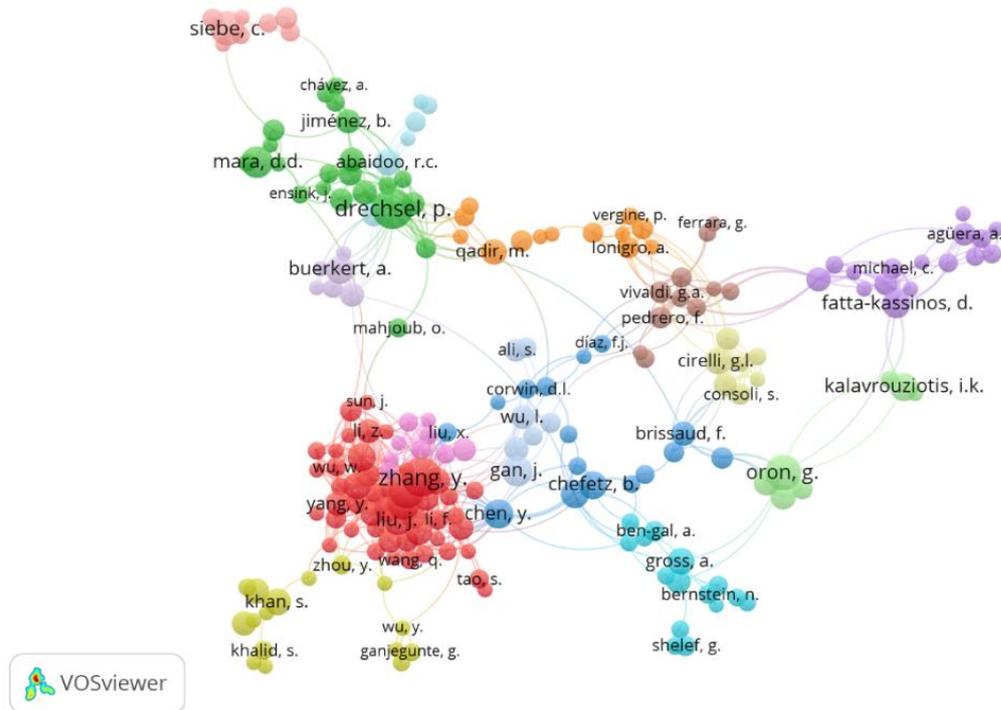
Figura 5 – Publicação científicas sobre reutilização da água na agricultura no período entre 1970 e 2021 por revistas.



Fonte: Autores.

A Figura 6 mostra a representação gráfica da rede de co-ocorrência dos autores dos artigos coletados sobre a reutilização de água na agricultura. Cada círculo representa o nome de um autor e o tamanho do círculo simboliza o quantitativo de artigos publicados pelo autor dentro da temática, ou seja, os círculos maiores representam os autores com maior volume de publicações. Desta forma, é possível observar o destaque de produção científica dos autores Zhang, Y. e Drechsel, P. A disposição na figura, representa os autores relacionados entre si, ou seja, quanto mais próximos os autores estão localizados maior conexão entre eles na análise bibliométrica. A representação gráfica permite visualizar 15(quinze) diferentes clusters, que consistem em pesquisadores com maior conexão entre si pelos estudos produzidos, a distinção se dá pelas cores/tons. O maior cluster é o vermelho, em volume de publicações e número de autores, é composto por pesquisadores chineses, com pesquisas colaborativas, na área de tratamento de esgoto doméstico. Temos também com destaque o cluster na cor verde escuro, onde temos estudos produzidos de irrigação com água residuária e estudos em países em desenvolvimento.

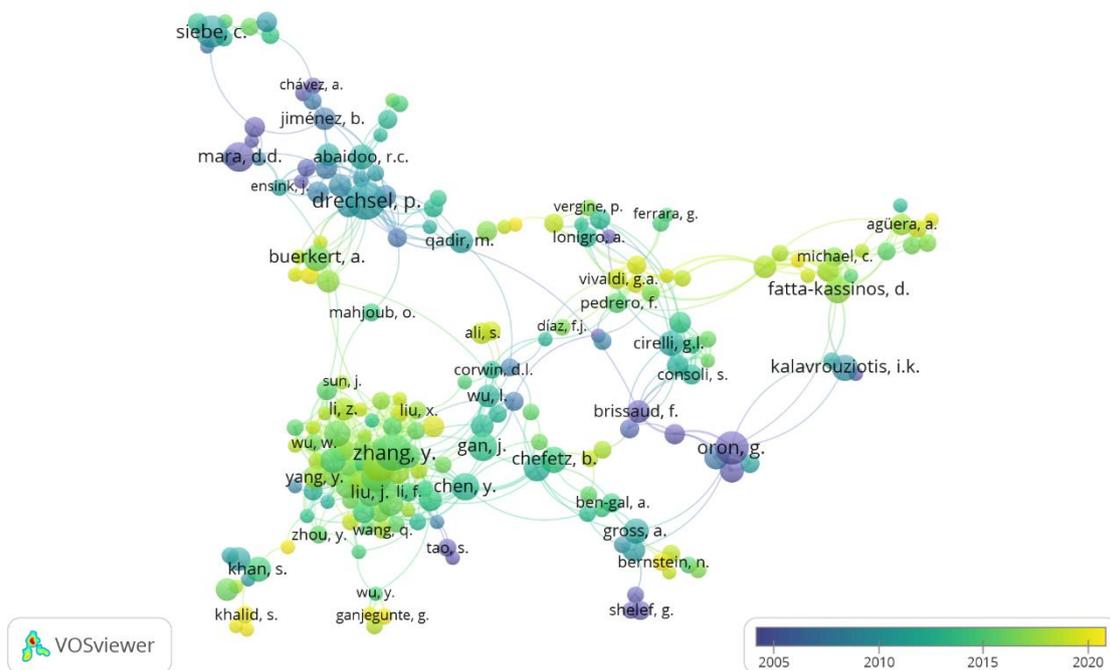
Figura 6 – Rede bibliométrica com base na autoria de trabalhos sobre a reutilização de água na agricultura entre os anos de 1970 e 2021.



Fonte: Autores.

Acrescentando o fator temporal à rede bibliométrica, temos na figura abaixo a diferenciação das cores por período, permitindo identificar o período de produção dos estudos, sendo os mais antigos, de 1970 aos anos próximos a 2005 os na cor roxa, posteriormente passando para o azul escuro no interstício de tempo entre 2005 a 2010, posteriormente passando para o tom verde escuro para o verde claro, entre 2010 à 2015 e próximo a 2020 passando para a cor amarela, que demonstram os estudos mais recentes sobre o tema. Observa-se que os estudos produzidos pelo cluster de maior dimensão – identificado em vermelho na Figura 7, tem a maioria dos estudos nos últimos 10 anos, com as cores verde claro e amarelo, o outro cluster que também possui grande impacto de produção científica – identificado em verde escuro na Figura 6, tem seus estudos mais antigos, anteriores a 2010, conforme cores roxo e azul escuro. Conforme Figura 7:

Figura 7 – Rede bibliométrica com base na autoria de trabalhos sobre a reutilização de água na agricultura entre os anos de 1970 e 2021, por ano.



Fonte: Autores.

4. Considerações Finais

Este estudo contribuiu para a avaliação do *status quo* do fazer científico mundial referente ao uso de água residual na agricultura, através de uma abordagem teórica. Este estudo revela que o tema foi abordado em artigos científicos pela primeira vez em 1970, avançando rapidamente ao longo das décadas seguintes, com uma ampliação considerável de publicações nos últimos anos.

A maioria dos estudos concentram-se na área ambiental, embora já evidenciado os benefícios não só para o meio ambiente, mas também para a nutrição das plantas e a baixa ocorrência de riscos ao solo, quando a forma de aplicação e características dos efluentes atendem os parâmetros legais.

A produção científica sobre a temática é compartilhada prioritariamente através dos periódicos, que possuem um papel fundamental, com a responsabilidade de compartilhar 79% (setenta e nove por cento) do conhecimento científico produzido no mundo sobre o uso de água residuária na agricultura.

Observou-se que os Estados Unidos possuem o domínio na produção científica sobre o tema, refletindo também o estágio de desenvolvimento legal e de implementação da utilização de água residual no país, em segundo lugar temos a China, que também avançou muito no aproveitamento de águas residuárias, bem como na produção científica e investimento ao longo dos anos. Aparecem na sequência países com um estágio avançado na temática. O Brasil ocupa o 11º (décimo primeiro) lugar em produção científica o que espelha sua e adoção da sistemática em nosso país, pois como observou-se, poucos municípios e estados brasileiros possuem normatização sobre o reuso de água.

O uso das redes bibliométricas, possibilitam identificar as redes colaborativas para produção do conhecimento científico, mapear autores relevantes sobre a temática, bem como lacunas na produção do conhecimento, especialmente temporais, permitindo avaliar estudos e áreas que necessitam de atualização e ampliação das discussões.

Recomendamos que os trabalhos futuros utilizem outras bases de dados, visando dar maior amplitude sobre a temática. Para a visão geral do presente estudo, utilizou-se apenas artigos em inglês, outra abordagem sugerida seria a pesquisa em outros idiomas, como mandarim, possibilitando assim ampliar essa visão geral com artigos publicados.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS Campus Machado. Agradecimentos: À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento da pesquisa (Universal APQ-00498-16), do 4º autor.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). *Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos*. Projeto, construção e operação. Recuperado de <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3633>
- Agência Nacional de Águas. (2019). *Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil*. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA.
- Agência Nacional de Águas. (2021). *Resolução ANA nº 77, de 1º de junho de 2021*. DOU, Imprensa Nacional. <https://www.in.gov.br/web/dou>.
- Araújo, C. A. A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Periódico Em Questão*, 12(1): 11-32.
- Bertoncini, E. I. (2008). Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, 1(1): 152-169.
- Bouzemrak, Y. et al. (2019). Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 94(1): 54–64.
- Cavalcante, K. L., Deon, M. D. & Silva, H. K. P. (2017). Estudo das características restritivas dos efluentes das estações de tratamento de esgoto de Petrolina-PE para uso na agricultura irrigada. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(2): 1331–1338.
- Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais. (2020). *Deliberação normativa CERH-MG nº 65, de 18 de junho de 2020*. <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>.
- Faria, W. R., Perobelli, F. S. & Souza, D. L. O. (2020). Projeção populacional, mudanças climáticas e efeitos econômicos: uma avaliação a partir de blocos econômicos agrícolas. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 37(1): 1-33.
- Food and Agriculture Organization. (2019). *Dia Mundial da Água: FAO apela à inovação nas tecnologias da água para aumentar a eficiência do uso da água*. <http://www.fao.org>.
- Fernandes, L.; Garcia, A; Cruz, P.(2015). Desenvolvimento desigual na era do conhecimento: a participação dos BRICS na produção científica e tecnológica mundial. *Contexto Internacional* v. 37, n. 1, p. 215–253, abr. 2015.
- Ferreira, D. M., Navoni, J. A., Araújo, A. L. C., Tinoco, J. D. & Amaral, V. S. (2019). Reuso agrícola de águas no brasil: limites analíticos do efluente para controle de impactos. *Revista Caatinga*, 32(4): 1048-1059.
- Iwa Publishing. *Water Science and Technology* : Aims & Scop. https://iwaponline.com/wst/pages/Aims_and_Scope.
- Lacerda, R. T. O., Ensslin, L. & Ensslin, S. R. (2012). Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestão & Produção*, 19(1): 59-78.
- Levy, Y. & Ellis, T. J. (2006). A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 9(1): 181-212.
- Lima, E. P. & Minuzzi, R. B. (2019). Requerimento de irrigação para a laranja em cenários climáticos futuros no Norte e Noroeste Fluminense. *Agrometeoros*, 27(1): 165-172. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1112129/requerimento-de-irrigacao-para-a-laranja-em-cenarios-climaticos-futuros-no-norte-e-noroeste-fluminense>.
- Littell, J. H., Corcoran, J., & Pillai, V. (2008). *Systematic reviews and meta-analysis*. New York: Oxford University Press.
- Merigó, J. M. & Yang, J. B. (2017). A bibliometric analysis of operations research and management science. *Ômega*, 73(1): 37-48.
- Morioka, S. N., Iritani, D. R., Ometto, A. R. & Carvalho, M. M. (2018). Revisão sistemática da literatura sobre medição de desempenho de sustentabilidade corporativa: uma discussão sobre contribuições e lacunas. *Gestão & Produção*, 25(2): 284-303. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X2720-18>.
- Moura, P. G., Aranha, F. N., Handam, N. B., Martin, L. E., Salles, M. J., Carvajal, E., Jardim R. & Martins, A. S. (2020). Água de reuso: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(6): 791-808. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>.
- Paula, R. S. P, Shimoda, E., Batista, F. B. & Santos Junior, P. J. (2017). Indicadores bibliométricos na base Scopus: uma análise das publicações sobre o tema “economia ambiental”. *Brazilian Journal of Development*, 3(2): 350-365. [org/10.34117/bjdv3n2-37](http://dx.doi.org/10.34117/bjdv3n2-37).

- Pereira, B. F. F. (2009). *Alterações químicas no sistema solo-planta irrigado com efluente de esgoto tratado no cultivo dos citros* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, Programa de Solos e Nutrição de Plantas, Piracicaba, SP, Brasil.
- Rocha, F. A., Silva, J. O. & Barros, F. M. (2010). Reuso de águas residuárias na agricultura: A experiência israelense e brasileira. *Enciclopédia Biosfera*, 6(1): 1-9.
- Saath, K. C. O. & Fachinello, A. L. (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 56(2): 195-212 <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>.
- Santos, A. S., Rodrigues, M. H. B. S., Silva, G. V., Gomes, F. A. L., Silva, J. N. & Cartaxo, P. H. A. (2020). Importância do reuso de água para irrigação no Semiárido. *Meio Ambiente (Brasil)*, 2(2): 15-20.
- Santos, C. K., Santana, F. S., Ramos, F. S. M. & Faccioli, G. (2018). Impacto do uso de efluentes nas características do solo cultivado com quiabo (*Abelmoschus esculentus L.*). *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(4): 2776-2783.
- Santos, R. F., Zanão Júnior, L. A., Silva, A. A. F., Lenz, N. B. G., Gorski, R. K. S. & Matsura, E. E. (2016). Implicações do uso de irrigação subsuperficial com esgoto doméstico tratado em cultivo de laranjas *Citrus sinensis*. *Acta Iguazu*, 5(4): 74-94. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v5i4.16025>.
- Souza, C. F., Bastos, R. G., Gomes, M. P. M. & Pulschen, A. A. (2015). Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. *Revista Ambiente & Água*, 10(3): 587-597. Recuperado de <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1549>.
- Torres, D. M. (2019). Tratamento de efluentes e produção de água de reuso para fins agrícolas. *Holos*, 8(1): 1-15.
- Tranfield, D., Denyer, D. & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3): 207-222.
- Van Eck, N. J.; Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2): 523-538.