



DOI: 10.31416/rsdv.v12i3.766

Sistemas wetlands aplicados a efluentes da vitivinicultura: um estudo prospectivo científico

Wetland systems applied to wine effluents: a prospective scientific study

SANTOS, Sheila Ferreira. Graduada/Engenharia Agrícola e Ambiental

Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus Juazeiro-BA. Juazeiro - Bahia - Brasil. CEP: 48902-300/
Telefone: (87) 8104.9961 / E-mail: sheila.santos@discente.univasf.edu.br

AMORIM, Miriam Cleide Cavalcante. Doutora/Engenharia Química

Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus Juazeiro-BA. Juazeiro - Bahia - Brasil. CEP: 48902-300/
Telefone: (87) 8824.3474 / E-mail: miriam.cleide@univasf.edu.br

RESUMO

A atividade do setor vitivinícola gera grandes volumes de efluentes, cujo tratamento inadequado pode acarretar sérios impactos no solo e nos recursos hídricos. Neste cenário, os sistemas de wetlands surgem como uma alternativa promissora para o tratamento desses efluentes. O objetivo deste estudo foi realizar uma prospecção de trabalhos relacionados à aplicação de sistemas wetlands no tratamento de efluentes da indústria vitivinícola, investigando suas principais características e tendências. Para alcançar esse objetivo, foram conduzidas buscas nas bases de dados Web of Science e Scopus. Os resultados obtidos indicam que há um número limitado de pesquisas envolvendo o uso desses sistemas para tratar efluentes da vitivinicultura, no entanto, os dados mostram um crescimento no interesse por esse tema ao longo do tempo, com publicações datando desde 1997. As áreas predominantes nas publicações são Ciências Ambientais e Engenharia, e a África do Sul e a Espanha lideram as publicações sobre o tema. Além disso, este estudo revelou uma predominância de sistemas de wetlands com escoamento subsuperficial, uso de macrófitas emergentes, sistemas híbridos e cascalho como meio suporte para tratar esse tipo de efluente, fornecendo uma visão abrangente do desenvolvimento das pesquisas em sistemas wetlands para o tratamento de efluentes da vitivinicultura.

Palavras-chave: Recursos hídricos, tratamento de efluentes, Vinícola.

ABSTRACT

The wine sector generates large volumes of effluents, the inadequate treatment of which can lead to serious impacts on the soil and water resources. In this scenario, wetland systems emerge as a promising alternative for treating these effluents. The aim of this study was to carry out a survey of studies related to the application of wetland systems in the treatment of effluents from the wine industry, investigating their main characteristics and trends. To achieve this objective, searches were conducted in the Web of Science and Scopus databases. The results indicate that there is a limited amount of research involving the use of these systems to treat wine industry effluents, however, the data shows a growing interest in this topic over time, with publications dating back to 1997. The predominant areas in the publication are Environmental Sciences and Engineering, and South Africa and Spain lead the publications on the subject. In addition, this study revealed a predominance of wetland systems with subsurface flow, use of emergent macrophytes, hybrid systems and gravel as a support medium for treating this type of effluent, providing a comprehensive overview of the development of research into wetland systems for the treatment of wine-growing effluents.

keywords: Water resources, effluent treatment, Winery.



Introdução

A atividade industrial produz uma grande quantidade de efluentes, os quais, se não forem tratados de forma eficiente, resultam em poluição e danos aos corpos hídricos. Segundo Beltrame *et al.* (2016) a disposição inadequada de efluente no meio ambiente pode propiciar a contaminação do solo e dos recursos hídricos, além de algumas culturas agrícolas, animais e a biota. É incontestável a necessidade de preservar os recursos hídricos do planeta, e as empresas têm uma responsabilidade significativa quando se trata de garantir que os efluentes que liberam estejam em conformidade com as normas ambientais.

Nesse contexto, um dos ramos industriais responsáveis pela geração de grande volume de efluentes é o setor vitivinícola, presente em várias partes do mundo. Segundo Mader *et al.* (2022) a quantidade de efluente resultante das atividades do setor vitivinícola é estimado em um valor global aproximado de $7,5 \times 10^{10}$ litros anualmente. Esses efluentes têm origem em diversas etapas das operações vinícolas, incluindo o esmagamento e prensagem das uvas, a lavagem dos tanques de fermentação, os processos de filtração, a limpeza de superfícies e equipamentos, além das fases de envelhecimento e engarrafamento, e é caracterizado por altas concentrações de matéria orgânica, sólidos suspensos totais, baixo teor de nutrientes e pH variável (FLORES *et al.*, 2023; MILANI *et al.*, 2020).

A complexidade da composição desses efluentes originários da indústria vitivinícola apresenta desafios significativos, sobretudo devido ao potencial impacto adverso que podem exercer nos corpos hídricos, caso não sejam submetidos a tratamento adequado antes do descarte. Diante desse cenário, os sistemas de wetlands construídos surgem como uma alternativa altamente promissora para o tratamento desses efluentes. Esses sistemas são compostos por meios granulares, vegetação, solos e suas associações microbianas, e podem ser categorizados em vários tipos com base na hidrologia e direção do fluxo. Os tipos mais comuns incluem sistemas de fluxo livre de superfície, sistemas de fluxo subsuperficial horizontal e sistemas de fluxo subsuperficial vertical. Esses sistemas são projetados para simular os processos encontrados em zonas úmidas naturais, com o objetivo de melhorar a qualidade do efluente por meio de uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos (AGUILAR *et al.*, 2022; PASCUAL *et al.*, 2021).

Conforme observado por Flores *et al.* (2023), os sistemas de wetlands se destacam como uma solução particularmente adequada para o tratamento de efluentes vitivinícolas, em comparação com os métodos convencionais de tratamento biológico aeróbico e outras tecnologias. Isso se deve em grande parte ao fato de que esses sistemas possuem baixos custos de operação e manutenção em comparação com sistemas convencionais, além de minimizarem a geração de lodo residual, o que, de outra forma, demandaria tratamento adicional. Além disso, esses sistemas constituem uma tecnologia flexível e robusta, capaz de se adaptar a uma ampla gama de cargas orgânicas e hidráulicas, e têm demonstrado resultados promissores no tratamento de efluentes vinícolas (PASCUAL *et al.*, 2021).

Os estudos de prospecção desempenham importante papel pois oferecem cenários potenciais que auxiliam na tomada de decisões e formulação de estratégias. Auxiliam a mapear os



desenvolvimentos científicos e tecnológicos, a visualizar as tendências de mercado e lacunas a serem preenchidas (PARANHOS & RIBEIRO, 2018). Para tanto utiliza-se de métodos e técnicas em função da área de conhecimento, do custo a ser aplicado, e da abrangência que o estudo pretende alcançar (RIBEIRO, 2018).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo é realizar uma análise, por meio de uma prospecção científica, do cenário de pesquisas voltadas para a aplicação de sistemas wetlands no tratamento de efluentes da indústria vitivinícola. Serão investigadas as principais características associadas a esses sistemas, visando proporcionar uma compreensão abrangente das estratégias, abordagens e decisões específicas referentes à utilização de sistemas wetlands no tratamento de efluentes da vitivinicultura, a fim de apoiar decisões relacionadas à exploração do uso desses sistemas.

Material e métodos

A metodologia adotada neste estudo consistiu-se em diferentes etapas resumidas na Figura 1 e descritas como segue. A primeira etapa envolveu a seleção das bases de dados a serem utilizadas para a busca de trabalhos relacionados ao uso de sistemas wetlands no tratamento de efluentes da vitivinicultura. Para essa finalidade, foram selecionadas as bases de dados Web of Science (WOS) e Scopus, devido à sua ampla cobertura em diversas áreas do conhecimento e por serem reconhecidas internacionalmente.

Em seguida, foram selecionadas strings para compor a estratégia de busca que consistiu em diversas combinações de termos semelhantes relacionados ao tema, conforme indicado no Quadro 1. Os termos foram agrupados e combinados usando o operador booleano "OR": Grupo 1- (Wetland* OR "wetland system" OR "constructed wetland" OR phytoremediation); Grupo 2- ("Effluent treatment" OR "Liquid wastes" OR Wastewater OR "Residual Waters"); Grupo 3- (winery OR wine OR grape) (Quadro 1). Essa etapa foi crucial para garantir que as informações recuperadas englobassem pelo menos uma das expressões utilizadas em cada grupo. Além disso, foi utilizado o operador de truncamento "*" para ampliar os resultados da busca. Posteriormente, esses grupos de strings foram combinados entre si usando o operador booleano "AND", resultando na seguinte estratégia de busca: (Grupo 1) AND (Grupo 2) AND (Grupo 3). Por se tratar de bases de dados internacionais, as strings foram utilizadas no idioma inglês e os operadores booleanos "AND" e "OR" foram usados para combinar logicamente os termos semelhantes da busca e garantir a precisão e relevância dos resultados.

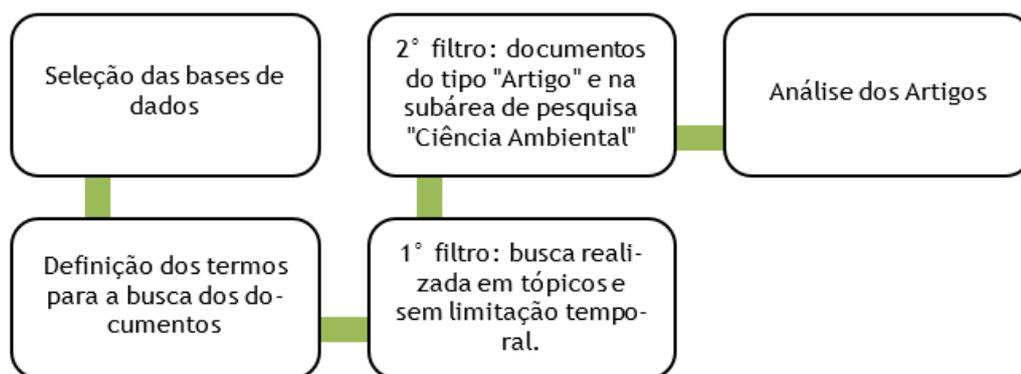
Quadro 1 - Grupos de termos relacionados ao uso de sistemas wetlands construídos no tratamento de efluentes da vitivinicultura utilizados na estratégia de busca.

Grupo 1- (Wetlands)	Grupo 2- (Effluent treatment)	Grupo 3- (winery)
Wetland*	"Effluent treatment"	winery
"wetland system"	"Liquid wastes"	wine
"constructed wetland"	Wastewater	grape
phytoremediation	"Residual Waters"	

Fonte: Autores, 2023.

Na terceira etapa, foram realizadas as buscas nas bases de dados selecionadas usando a estratégia definida (Figura 1). As pesquisas foram realizadas em tópicos (título, resumo e palavras-chave) e sem limitação temporal. Além disso, na base de dados WOS, limitou-se a pesquisa à sua coleção principal. Posteriormente, para um estudo mais aprofundado sobre o tema, foram aplicados filtros para incluir apenas documentos do tipo "Artigo" e na subárea de pesquisa "Ciência Ambiental" em ambas as bases de dados. Artigos de revisão foram excluídos da busca. Esses filtros foram escolhidos com o objetivo de assegurar a seleção de artigos pertinentes para análise dos resultados, uma vez que estavam diretamente relacionados ao assunto de interesse. Após a aplicação desses filtros, foram selecionados e avaliados 32 artigos na coleção principal da WOS e 43 artigos na base de dados Scopus, sendo neles observados os seguintes critérios e características dos sistemas: Regime de escoamento; Direção do fluxo; Tipo de crescimento das macrófitas; Espécies de macrófitas e Meio suporte. Após a avaliação, foram identificados 13 artigos que tratavam diretamente do tema de interesse deste estudo.

Figura 1 - Fluxograma das etapas que compreendem o levantamento de dados.



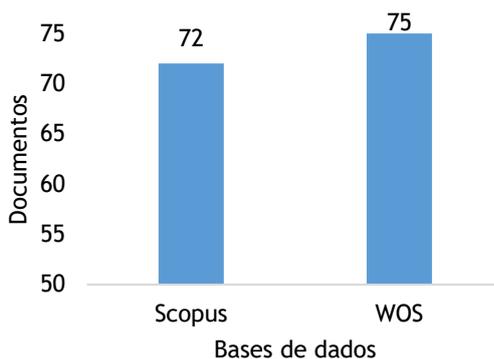
Fonte: Autores, 2023.

Resultados e discussão

1. Prospecção Científica

Os dados obtidos a partir da estratégia de busca, na etapa inicial, indicam que há um número limitado de pesquisas envolvendo o uso de sistemas wetlands para tratar efluentes da vitivinicultura. O gráfico 1 apresenta o número de publicações científicas nas respectivas bases de dados, a WOS obteve o maior número de trabalhos, com 75 documentos, demonstrando que existem poucas pesquisas sobre o tema. Os resultados obtidos na base de dados Scopus, sem a utilização de filtros, foram bastante próximos ao número de trabalhos obtidos na coleção principal da WOS, totalizando 72 publicações encontradas. Dentre essas publicações, 69,9% foram artigos, 9,6% foram revisões, 5,5% foram capítulos de livro e 4,1% foram revisões de conferência.

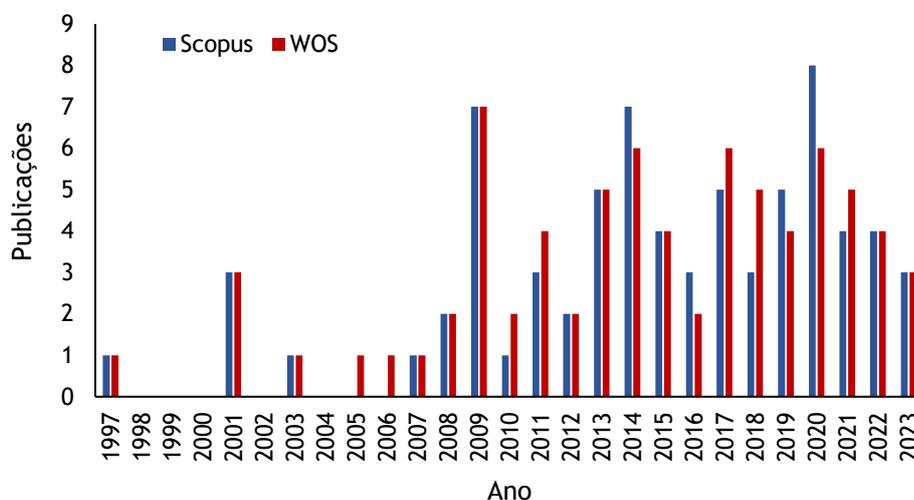
Gráfico 1 - Número de publicações científicas obtidas nas duas bases de dados.



Fonte: Autores, 2023.

O gráfico 2 mostra o número de trabalhos publicados ao longo do tempo nas duas bases de dados, revelando que o primeiro trabalho relacionado a wetlands aplicados a efluentes da vitivinicultura foi publicado em 1997. Na base de dados Scopus, a partir de 2009, foi observado um aumento no número de publicações relacionadas, embora apresentando algumas oscilações ao longo dos anos. Houve variação na quantidade de publicações em diferentes anos, alguns registrando um número considerável de trabalhos, enquanto outros não apresentaram publicações relacionadas. Destacam-se os anos de 2009 e 2014, nos quais foram encontradas sete publicações cada, e o ano de 2020, com oito publicações. A análise dos dados revela que nos anos subsequentes ao primeiro trabalho registrado na coleção principal da WOS, em 1997, houve um aumento gradual no número de publicações, com alguns anos apresentando um número considerável de trabalhos, como 2009, com 7 publicações, 2011, com 4 publicações, e 2014, 2017 e 2020, com 6 publicações. No geral, esses resultados indicam um interesse crescente no tema wetlands aplicados a efluentes da vitivinicultura ao longo do tempo. É importante ressaltar que esses dados são baseados na busca realizada apenas nessas duas bases de dados e podem não refletir a totalidade de trabalhos publicados sobre a temática.

Gráfico 2 - Número de publicações sobre wetlands aplicados a efluentes da vitivinicultura ao longo do tempo na base de dados Scopus.

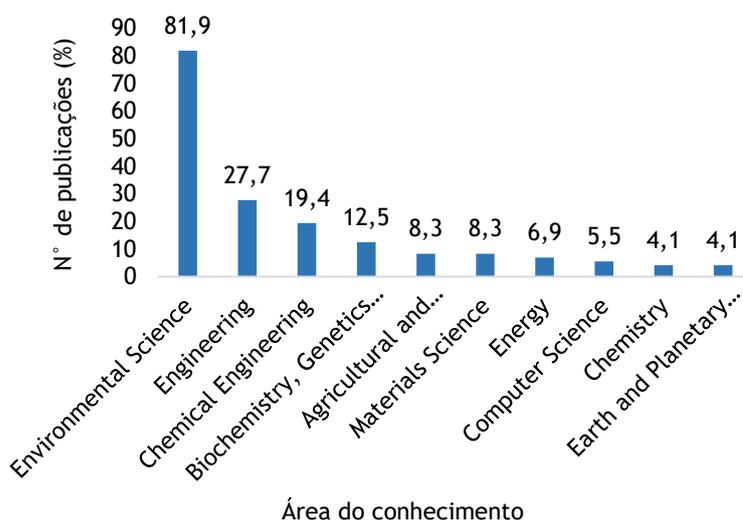


Fonte: Autores, 2023.



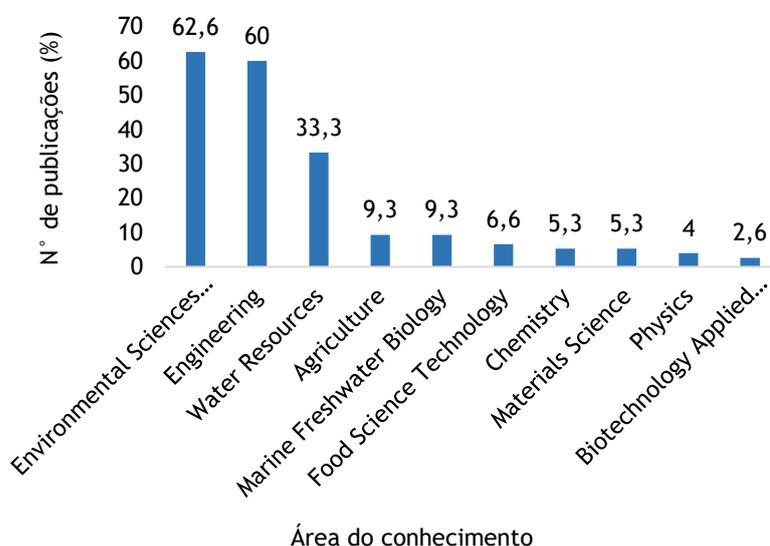
Neste contexto, os gráficos 3 e 4 apresentam a distribuição das publicações relacionadas a sistemas wetlands aplicados a efluentes da vitivinicultura por área do conhecimento nas bases de dados Scopus e WOS, respectivamente. É possível observar que as áreas que mais contribuíram com trabalhos foram Ciências Ambientais e Engenharia. Em relação à base de dados Scopus, Ciências Ambientais representa a maior parcela, com 81,9% do total de registros, indicando uma forte presença de pesquisas nessa área. A área de Engenharia ocupa a segunda posição, com 27,7% das publicações. Na base de dados WOS, Ciências Ambientais também apresenta uma representatividade importante, abrangendo 62,6% do total de registros. Da mesma forma, a área de Engenharia destaca-se, com 60% das publicações. Esses resultados enfatizam a relevância das Ciências Ambientais no estudo dos sistemas wetlands aplicados a efluentes da vitivinicultura, assim como a contribuição significativa da Engenharia nesse campo.

Gráfico 3 - Quantidade de documentos por área do conhecimento na base de dados Scopus.



Fonte: Autores, 2023.

Gráfico 4 - Quantidade de documentos por área do conhecimento na base de dados WOS.

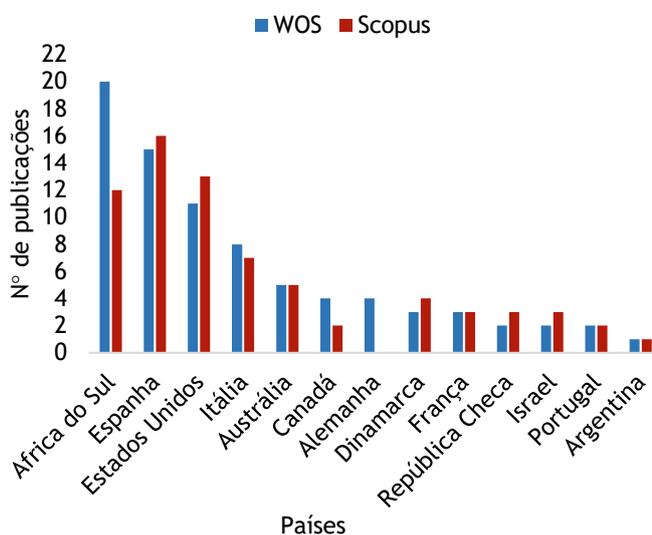


Fonte: Autores, 2023.



Os resultados sobre a distribuição geográfica das publicações relacionados à utilização de wetlands para tratamento de efluentes da vitivinicultura nas duas bases de dados são apresentados no Gráfico 5. Ao analisar a base de dados WOS, observa-se que a África do Sul lidera em número de publicações, com 20 artigos. Em segundo lugar encontra-se a Espanha, com 15 publicações, seguida pelos Estados Unidos, com 11 publicações. Na base de dados Scopus, a Espanha é o país com o maior número de trabalhos publicados, totalizando 16 publicações. Em segundo lugar estão os Estados Unidos, com 13 trabalhos publicados, seguidos pela África do Sul, com 12 publicações. Além desses países, outros também contribuíram com publicações sobre a utilização de wetlands no tratamento de efluentes da vitivinicultura.

Gráfico 5 - Quantidade de documentos por país ou território de ocorrência com publicações de trabalhos relacionados a aplicação de wetlands no tratamento de efluentes da vitivinicultura, nas bases de dados WOS e Scopus.



Fonte: Autores, 2023.

Esses resultados podem estar relacionados à relevância do setor vitivinícola para esses países, o que influencia o interesse e a produção de pesquisas sobre o tratamento de efluentes utilizando wetlands. Conforme destacado por Flores *et al.* (2023), o setor vitivinícola está amplamente distribuído pelo mundo, com destaque para países como Itália, França e Espanha, que representam 48% da produção total, seguidos dos EUA (9%), Argentina (5%), Austrália (4,5%), Chile (4,5%), África do Sul (4%) e Alemanha (3,5%).

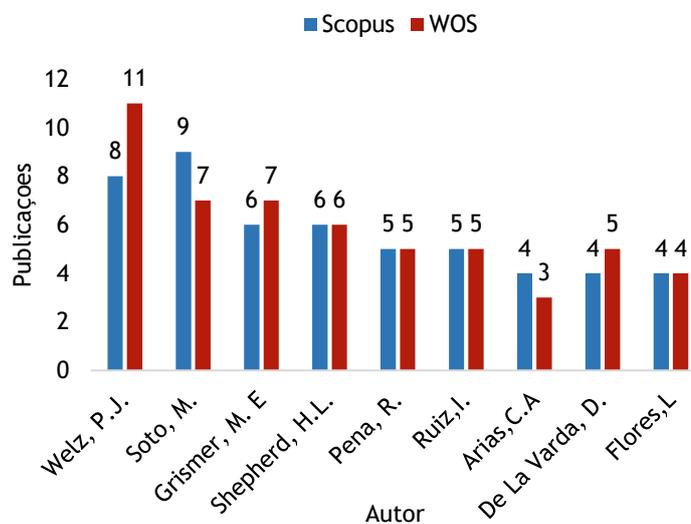
Por outro lado, como o uso de wetlands tem se mostrado uma alternativa viável para o tratamento de efluentes em vinícolas de menor porte, essa pode ser uma razão para o número de publicações relacionadas à África do Sul, um país com uma significativa presença de vinícolas pequenas (Sheridan *et al.*, 2021). Conforme destacam os citados autores, cerca de 46% das vinícolas desse país são classificadas como pequenas e processam menos de 100 toneladas de uvas por ano. Além disso, De Melo *et al.* (2017) mencionam que a África do Sul está entre as regiões conhecidas como “o novo mundo do vinho” se destacando como um produtor de vinhos em ascensão e de grande



destaque. Essas particularidades podem contribuir para o interesse e o aumento da pesquisa sobre o uso de wetlands no tratamento de efluentes vitivinícolas nesse país.

O autor com o maior número de publicações relacionadas a sistemas wetlands aplicados a efluentes da indústria vitivinícola nas bases de dados WOS e Scopus é Welz, P. J. (Gráfico 6). Na base de dados WOS, ele possui um total de 11 publicações, que ocorreram no período de 2012 a 2023. Essas publicações incluem 10 artigos e uma revisão. Na base de dados Scopus, Welz, P. J. possui 8 publicações, sendo 7 artigos e uma revisão, também no período de 2012 a 2023.

Gráfico 6 - Quantidade de documentos por autor nas bases de dados Scopus e WOS.



Fonte: Autores, 2023.

O segundo autor com mais publicações é Soto, M., que possui um total de 9 registros na Scopus no período de 2011 a 2021. Essas publicações incluem 6 artigos, 2 capítulos de livros e uma revisão. Além disso, Soto, M. também possui 7 publicações na WOS no período de 2011 a 2013, compreendendo 6 artigos e uma revisão.

O terceiro autor é Grismer, M. E., com 6 publicações na Scopus distribuídas nos anos de 1997, 2001, 2003 e 2011, sendo que dessas publicações 5 são artigos. Na base de dados WOS, ele obteve 7 publicações no período de 2011 a 2013, sendo 6 artigos e uma revisão.

Ao analisar o perfil desses três autores e os artigos por eles publicados, fica evidente a relação desses pesquisadores com os países que lideram em número de publicações, tanto na base de dados WOS quanto na Scopus. Essa conexão é estabelecida pelo fato de que esses autores estão ligados a instituições localizadas nesses países: Estados Unidos, Espanha e África do Sul, os quais possuem uma grande relevância na produção do setor vitivinícola (Quadro 2). Essa relação pode ser atribuída a uma combinação de desafios locais e preocupações ambientais, que motivam os pesquisadores desses países a se dedicarem à pesquisa sobre o tratamento de efluentes vinícolas por meio de sistemas Wetlands.



Quadro 2. Autores com o maior número de trabalhos publicados nas duas bases de dados, juntamente com as instituições às quais fazem parte.

Autor	Instituição
Welz, P.J.	Instituto de Biotecnologia Microbiana e de Saúde Aplicada, Cidade do Cabo, África do Sul.
Soto, M.	Universidade da Coruña, A Coruna, Espanha.
Grismer, M. E.	Universidade da Califórnia, Davis, Davis, Estados Unidos.

Fonte: Autores, 2023.

2. Análise dos Artigos Selecionados

Inicialmente, foi realizada a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos 32 artigos da coleção principal da WOS e dos 43 artigos da base de dados Scopus para verificar se abordavam efetivamente o assunto que estava sendo pesquisado. No entanto, foi constatado que determinados artigos apenas mencionam os sistemas wetlands em seus resumos e/ou palavras-chave, sem abordar o efluente vinícola o que resultou em sua inclusão nos resultados da pesquisa. Ao final da revisão, apenas 13 artigos (Quadro 3) foram selecionados por abordarem os critérios e características estabelecidos para este estudo: Regime de escoamento; Direção do fluxo; Tipo de crescimento das macrófitas; Espécies de macrófitas e Meio suporte. O Quadro 4 apresenta as principais características de wetlands aplicados a efluentes da indústria vitivinícola presentes nesses estudos.

Quadro 3- Resumo dos 13 artigos utilizados na revisão.

Título	Ano	Periódico
Effect of aeration on nitrogen removal-associated microbial community in an innovative vertical cork-based constructed wetland for winery wastewater treatment	2022	Ecological Engineering
Nature based solutions for winery wastewater valorisation	2021	Ecological Engineering
Influence of nutrients and pH on the efficiency of vertical flow constructed wetlands treating winery wastewater	2021	Journal of Water Process Engineering
Promotion of full-scale constructed wetlands in the wine sector: Comparison of greenhouse gas emissions with activated sludge systems	2021	Science of The Total Environment
Carbon footprint of constructed wetlands for winery wastewater treatment	2020	Ecological Engineering
Treatment of winery wastewater with a multistage constructed wetland system for irrigation reuse	2020	Water
A vertical flow constructed wetland for the treatment of winery process water and domestic sewage in Ontario, Canada: Six years of performance data	2016	Ecological Engineering
Performance evaluation of partially saturated vertical-flow	2014	Ecological Engineering



constructed wetland with trickling filter and chemical precipitation for domestic and winery wastewaters treatment		
Winery wastewater treatment in subsurface constructed wetlands with different bed depths	2013	Water, Air, & Soil Pollution
Winery wastewater treatment in a hybrid constructed wetland	2011	Ecological Engineering
Influence of polyphenols on low-loaded synthetic winery wastewater constructed wetland treatment with different plant species	2009	Canadian Journal of Civil Engineering
Design of horizontal and vertical subsurface flow constructed wetlands treating industrial wastewater	2008	Water Pollution IX
Time-dependent retardation model for chemical oxygen demand removal in a subsurface-flow constructed wetland for winery wastewater treatment	2001	Water Environment Research

Quadro 4- Características dos sistemas wetlands aplicados a efluentes da vitivinicultura.

Regime de escoamento	Ocorrência nos artigos
1. Superficial	7,6 %
2. Subsuperficial	100%
Direção de fluxo	Ocorrência nos artigos
1. Vertical	38,40%
2. Horizontal	7,60%
3. Híbrido	53,80%
Tipo de crescimento das macrófitas	Ocorrência nos artigos
1. Emergentes	100%
2. Flutuantes	0
Espécies de macrófitas	Ocorrência nos artigos
1. <i>Phragmites australis L.</i>	53,80%
2. <i>Iris pseudacorus L.</i>	15,30%
Meio Suporte	Ocorrência nos artigos
1. Cascalho	50%
2. Cascalho/Areia	40%

Fonte: Autores, 2023.

2.1 Regime de Escoamento Subsuperficial

Em todos os artigos analisados os estudos foram realizados com wetlands de fluxo subsuperficial, com exceção de um que utilizou uma combinação de wetlands de fluxo superficial e



subsuperficial. Em Wetlands construídas com escoamento subsuperficial, o efluente a ser tratado é retido sob a superfície composto por leito filtrante isolado hidraulicamente. Nesse tipo de sistema, a taxa de remoção de poluentes é geralmente alta devido às espessas camadas de substrato que não apenas servem como filtros, mas também fornecem locais de fixação microbiana e subsequente formação de biofilme (SEHAR e NASSER, 2019). O uso exclusivo de Sistemas Wetlands com fluxo subsuperficial para tratar efluentes provenientes da produção vinícola pode estar relacionada ao benefício de evitar qualquer contato direto com a atmosfera. Esse aspecto se revela vantajoso ao minimizar a ocorrência de odores desagradáveis.

2.2 Direção do Fluxo

Ao analisar a direção do fluxo, observou-se que 38,4% das pesquisas utilizam sistemas de escoamento vertical, enquanto somente 7,6% adotam sistemas de escoamento horizontal. Paralelamente, constatou-se que 53,8% das pesquisas optaram pela utilização de sistemas híbridos de tratamento. Sistemas wetlands híbridos consistem na combinação de dois ou mais wetlands, caracterizados por direções de fluxos tanto horizontais quanto verticais. A origem desses sistemas surgiu com a finalidade de se utilizar as vantagens específicas que surgem de tais combinações, combinando os pontos fortes e fracos de cada tipo de sistema (RODRIGUES, 2016; PASCUAL *et al.*, 2021). Nos wetlands construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal, o efluente a ser tratado é disposto na porção inicial do leito, denominada zona de entrada, de onde irá percolar vagarosamente através do material filtrante até atingir a porção final chamada de zona de saída, enquanto que os sistemas de fluxo vertical se constituem com entrada do efluente na parte superior e saída pela parte inferior do sistema (SEZERINO *et al.*, 2015; ZINATO e GUIMARÃES, 2017). Dessa forma, busca-se englobar processos de tratamento complementares em cada uma das unidades, o que resulta na obtenção de um efluente com uma significativa redução de contaminantes.

Os sistemas com fluxo horizontal são incapazes de liberar efluentes totalmente nitrificados devido à falta de capacidade de transferência de oxigênio, enquanto os sistemas com fluxo vertical com transferência de oxigênio aprimorado fornecem nitrificação muito melhor, mas com nenhuma desnitrificação que pode ser fornecida por sistemas com fluxo horizontal (SEHAR e NASSER, 2019). Essa interação estratégica visa aprimorar consideravelmente o desempenho do tratamento, o Quadro 5 apresenta as combinações de tipos de wetlands utilizados nos trabalhos analisados.

Quadro 5- Combinações de tipos de Wetlands utilizados nos trabalhos analisados, onde FV- wetlands construídos de fluxo vertical; FH-wetland construído de fluxo horizontal e WES-wetland com escoamento superficial.

Autores	Combinações
Pascual <i>et al.</i> (2021)	Dois FV e um FH
Flores <i>et al.</i> (2021)	Dois FV e um FH
Flores <i>et al.</i> (2020)	Dois FV e um FH
Milani <i>et al.</i> (2020)	Um FV um FH um WES



De La Varga <i>et al.</i> (2013)	Um VF e três HF
Serrano <i>et al.</i> (2011)	Um FV e três FH
Mena <i>et al.</i> (2008)	Quatro FV e um FH

Fonte: Autores, 2023.

2.3 Tipo de crescimento e espécies de macrófitas

É possível observar também que todas as pesquisas fizeram uso de macrófitas emergentes. Dentre as espécies vegetais utilizadas o junco comum (*Phragmites australis L.*) foi a espécie vegetal adotada em 53,8% dos estudos analisados, envolvendo wetlands no tratamento de efluentes provenientes da indústria vitivinícola. Em segundo lugar, encontra-se a espécie *Iris pseudacorus L.*, adotada em 15,3% dos estudos (Figura 1).

Em uma pesquisa conduzida por Mader *et al.* (2022), esta espécie foi apontada como uma escolha frequente para emprego em wetlands destinadas à mitigação de contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes nas águas residuais de vinícolas. Ademais, em uma revisão realizada por Latessa *et al.* (2023), foi constatado que tanto wetlands construídos em escala piloto quanto em escala real para o tratamento de águas residuais de vinícolas foram frequentemente plantados com as espécies *Typha* e *Phragmites*.

A seleção das espécies vegetais para compor um sistema wetland é uma etapa de grande importância, já que é necessário que elas possam suportar elevadas quantidades de compostos presentes nos efluentes e, ao mesmo tempo, desempenhar o papel de descontaminar os mesmos. De acordo com Mader *et al.* (2022), além de seu rápido crescimento e alta produção de biomassa, essa espécie demonstra notável tolerância a níveis elevados de nutrientes e substâncias, bem como uma notável capacidade de adaptação a uma ampla faixa de valores de pH. Portanto, a utilização dessa espécie na composição dos sistemas wetlands destinados ao tratamento de efluentes vinícolas pode estar relacionada a essa última característica. Essa particularidade se mostra especialmente relevante, uma vez que os efluentes originados na indústria vitivinícola frequentemente apresentam uma acidez variável, devido à mistura de suco de uva ácido e produtos de limpeza alcalinos. Conforme apontado por De La Varga *et al.* (2013), o pH dos efluentes gerados na indústria vinícola varia entre 3,5 e 7.

Figura 1 - Espécies vegetais utilizadas: A- Macrófita *Phragmites australis L.* e B- Macrófita *Iris pseudacorus L.*



Fonte: A- Paquin M./ BioDiversity4All e B- John R./ BioDiversity4All

2.4 Meio Suporte

A pesquisa constatou que os meios de suporte mais comuns nos artigos analisados são cascalho, areia, brita e cortiça. O cascalho foi o principal material usado como suporte nos wetlands construídos para o tratamento de efluentes da indústria vitivinícola. Exclusivamente o cascalho foi empregado em 50% dos dez estudos que mencionaram o uso do meio suporte na construção do sistema, dentre os treze artigos examinados. Além disso, foi observada uma associação entre cascalho e areia, presente em 40% das dez pesquisas. Esses resultados estão em consonância com revisões recentes, como a de Mader *et al.* (2022). Segundo os autores, vários tipos de cascalho, com diâmetros variando de 3 a 40 mm, têm sido usados em wetlands construídos para tratar efluentes provenientes de vinícolas.

A areia também tem sido amplamente utilizada, em combinação ou sem cascalho. O uso do cascalho como principal material suporte na composição das wetlands pode estar associado à sua capacidade de evitar colmatação, dado que seu diâmetro é maior em comparação à areia. O termo 'colmatação' em wetlands construídos é aplicado quando a condutividade hidráulica diminui a ponto de o sistema não funcionar mais com eficiência (MADER *et al.*, 2022). Segundo Knowles *et al.* (2011) quanto menor o tamanho da partícula maior a probabilidade de interceptação de sólidos em suspensão devido a diâmetros de poros mais estreitos, tornando o meio mais suscetível a colmatação. A escolha do cascalho como substrato principal pode mitigar esse risco, garantindo uma maior eficiência e funcionamento contínuo dos wetlands.

2.5 Tipos de Pré-Tratamento

É importante mencionar que os resultados também apontaram para a frequente utilização de



etapas de pré-tratamento utilizando outras tecnologias. O método de tratamento primário mais amplamente adotado para os wetlands construídos, utilizados no tratamento de efluentes da indústria vitivinícola, foi o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA). Essa combinação foi observada em 55,5% dos trabalhos que utilizaram algum tipo de pré tratamento.

Além disso, foram identificadas outras abordagens, como filtração, nas combinações empregadas. A implementação do tratamento primário visa reduzir a carga orgânica e os sólidos em suspensão presentes nos efluentes antes de sua condução pelo sistema de wetland, otimizando assim o processo de tratamento. O uso de digestores anaeróbios como pré-tratamento pode alcançar alta remoção de sólidos em suspensão, remoção de matéria orgânica e, portanto, reduzir os riscos de entupimento de áreas úmidas (PASCUAL *et al*, 2021). Os autores também afirmam que a junção do RAFA com wetlands construídos representa uma tecnologia atraente, robusta e eficaz para o tratamento de efluentes da indústria vinícola. O Quadro 6 resume os principais resultados das variáveis analisadas nos estudos que empregaram wetlands para tratar efluentes da indústria vitivinícola, considerando os diferentes arranjos de wetlands e os pré-tratamentos utilizados.

Quadro 6 - Resultados alcançados no tratamento de efluentes vinícolas submetidos aos diferentes arranjos de wetlands e tipos de pré-tratamento.

Wetland	Pré-tratamento	Resultados	Referência
FV	ETE	Aumento de 50% na remoção de nitrato e nitrogênio total.	AGUILAR <i>et al.</i> (2022)
Dois FV e um FH	RAFA	A unidade FV atingiu 57% de remoção de amônia e a FH removeu efetivamente nitrito (87%) e nitrato (97%).	PASCUAL <i>et al.</i> (2021)
Duas unidades de FV	—	Alcançaram remoções percentuais de 88-98% DQO, 96-99% DBO5, 59-93% NT, 87-90% amônia e 59- 76% de fósforo.	SÁNCHEZ <i>et al.</i> (2021)
Dois FV e um FH	RAFA	A implementação de CWs pode ser tão competitiva quanto as tecnologias convencionais para o tratamento de águas residuais e lodos de vinícolas.	Flores <i>et al.</i> (2021)
Dois FV e um FH	RAFA	Os resultados mostraram que o cenário de wetlands construído apresentou o menor CFP.	Flores <i>et al.</i> (2020)
Um FV um FH um WES	Triagem grosseira	Eficiência média de remoção de cerca de 69% para TSS, 78% para COD e 81% para BOD5.	Milani <i>et al.</i> (2020)
Um VF e três HF	—	As eficiências médias de tratamento foram: 99% para DQO, 99% para DBOC, 98% para SST, 83% para fósforo total, 94% para	Rozema <i>et al.</i> (2016)



		nitrogênio Kjeldahl total e 85% de amônio.	
Duas unidades de FV	filtro gotejante	Remoções de DQO e azoto orgânico acima de 94%	Kim <i>et al.</i> (2014)
Um FV e Três unidades de FH	RAFA	As eficiências de remoção de remoção foram: SST de 74%, DQO e DBO5 situaram-se entre 60 e 80 %, compostos nitrogenados variando de 6 a 29% em média, polifenóis 39 %.	DE LA VARGA <i>et al.</i> (2013)
Um FV e Três unidades de FH	RAFA	A remoção de DQO variou de 29% a 70%, DBO ₅ de 36 % a 68%. Para a unidade de HF subsequente, a remoção de DQO variou de 23% a 79% e DBO de 13% para 85%.	Serrano <i>et al.</i> (2011)
FH	—	As eficiências de remoção de DQO foram altas, embora não houvesse indicações claras de como os tipos de plantas poderiam ter influenciado esse parâmetro.	MENA <i>et al.</i> (2008)
Quatro FV e um FH	—	O FH teve uma remoção de DQO mais rápida que o FV. Contudo, o valor da taxa de remoção de FV foi superior ao da taxa de remoção do FH.	MENA <i>et al.</i> (2008)
FV	Filtro	O modelo de retardo permite uma diminuição constante da DQO com o aumento do tempo de tratamento, em oposição ao modelo residual, que permite que o tratamento prossiga apenas até o valor residual de DQO.	Shepherd <i>et al.</i> (2001)

Onde FV- wetlands construídos de fluxo vertical; FH-wetland construído de fluxo horizontal e WES-wetland com escoamento superficial; ETE- estação de tratamento de efluentes; RAFA- Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente; DQO- Demanda Química de Oxigênio; DBO5- Demanda Bioquímica de Oxigênio; NT- Nitrogênio Total; CFP-pegada de carbono; SST- sólidos suspensos; DBOC- demanda bioquímica de oxigênio carbonáceo; SLR- carregamento superficial

Conclusões

Este estudo de prospecção oferece uma visão geral e abrangente sobre o desenvolvimento das pesquisas envolvendo sistemas wetlands no tratamento de efluentes da vitivinicultura bem como das estratégias adotadas na aplicação de sistemas wetlands para o tratamento de efluentes vitivinícolas.



Constatou-se um cenário com um número limitado de estudos que abordam a aplicação de sistemas wetlands para tratar efluentes vitivinícolas, com aumento de publicações a partir de meados dos anos 2000 e nas áreas de Ciências Ambientais e Engenharia. Além disso, a análise dos autores mais prolíficos nesse campo apontou os autores Welz, P. J., Soto, M. e Grismer, M. E., cujas contribuições têm desempenhado um papel significativo na disseminação do conhecimento sobre o uso de wetlands no tratamento de efluentes vitivinícolas. Quanto à distribuição geográfica, observou-se um predomínio de pesquisas originadas em países com forte presença na indústria vitivinícola, como Espanha, Estados Unidos e África do Sul.

A prospecção científica revelou a predominância de sistemas wetlands com escoamento subsuperficial e macrófitas emergentes, com sistemas híbridos e cascalho como meio suporte. Destacando-se a espécie *Phragmites Australis L.* por seu crescimento rápido e tolerância a variações de pH dos efluentes e a adoção de tratamento primário por reatores RAFA, demonstrando-se ser uma estratégia eficaz.

Referências

AGUILAR, L.; PÉREZ, L. M.; GALLEGOS, Á.; FORES, E.; ARIAS, C. A.; BOSCH, C.; VERDUM M.; JOVE, P.; PABLO, J.; MORATÓ, J. Effect of aeration on nitrogen removal-associated microbial community in an innovative vertical cork-based constructed wetland for winery wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v. 185, p. 106781, 2022.

BELTRAME, T. F.; BELTRAME, A. F.; LHAMBY, A. R.; PIRES, V. P. K. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 283-294, 2016.

DE LA VARGA, D.; RUIZ, I.; SOTO, M. Winery wastewater treatment in subsurface constructed wetlands with different bed depths. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 224, p. 1-13, 2013.

DE MELO, R. B.; DOROW, R.; DOS REIS, S. M.; ZABOT, M. O agronegócio vitivinícola sob a ótica das indicações geográficas da União Europeia (UE). **Revista Semiárido De Visu**, v. 5, n. 3, p. 167-179, 2017.

FLORES, L.; GARCÍA, J.; PENA, R.; GARFÍ, M. Carbon footprint of constructed wetlands for winery wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v. 156, p. 105959, 2020.

FLORES, L.; GARFÍ, M.; PENA, R.; GARCÍA, J. Promotion of full-scale constructed wetlands in the wine sector: Comparison of greenhouse gas emissions with activated sludge systems. **Science of The Total Environment**, v. 770, p. 145326, 2021.

FLORES, L.; JOSA, I.; GARCÍA, J.; PENA, R.; GARFÍ, M. Constructed wetlands for winery wastewater treatment: A review on the technical, environmental and socio-economic benefits. **Science of The Total Environment**, p. 163547, 2023.

JOHN R. *Iris pseudacorus L.* **Biodiversity4all**.2021. Disponível em: <https://www.biodiversity4all.org/observations/72664072>. Acesso em: 04 de maio de 2024



KIM, B.; GAUTIER, M.; PROST-BOUCLE, S.; MOLLE, P.; MICHEL, P.; GOURDON, R. Performance evaluation of partially saturated vertical-flow constructed wetland with trickling filter and chemical precipitation for domestic and winery wastewaters treatment. *Ecological Engineering*, v. 71, p. 41-47, 2014.

KNOWLES, P; DOTRO, G; NIVALA, J; GARCÍA, J. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: occurrence and contributing factors. *Ecological engineering*, v. 37, n. 2, p. 99-112, 2011.

LATESSA, S. H.; HANLEY, L.; TAO, W. Characteristics and practical treatment technologies of winery wastewater: A review for wastewater management at small wineries. *Journal of Environmental Management*, v. 342, p. 118343, 2023.

MADER, A. E.; HOLTMAN, G. A.; WELZ, P. J. Treatment wetlands and phyto-technologies for remediation of winery effluent: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, v. 807, p. 150544, 2022.

MENA, J.; RODRIGUEZ, L.; NUÑEZ, J.; FERNÁNDEZ, F. J.; VILLASEÑOR, J. Design of horizontal and vertical subsurface flow constructed wetlands treating industrial wastewater. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, v. 111, p. 555-564, 2008.

MENA, J.; GÓMEZ, R.; VILLASEÑOR, J.; DE LUCAS, A. Influence of polyphenols on low-loaded synthetic winery wastewater constructed wetland treatment with different plant species. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 36, n. 4, p. 690-700, 2009.

MILANI, M.; CONSOLI, S.; MARZO, A.; PINO, A.; RANDAZZO, C.; BARBAGALLO, S.; CIRELLI, G. L. Treatment of winery wastewater with a multistage constructed wetland system for irrigation reuse. *Water*, v. 12, n. 5, p. 1260, 2020.

PARANHOS, R. DE C. S.; RIBEIRO, N. M. Importância da Prospecção Tecnológica em Base de Patentes e seus Objetivos da Busca. *Cadernos de Prospecção*. v. 11, n. 5, p. 1274-1292, 2018.

PAQUIN M. *Phragmites australis* L. *Biodiversity4all*.2021. Disponível em: <https://www.biodiversity4all.org/photos/152727545>. Acesso em: 04 de maio de 2024.

PASCUAL, A.; PENA, R.; GÓMEZ-CUERVO, S.; DE LA VARGA, D.; ALVAREZ, J. A.; SOTO, M.; ARIAS, C. A. Nature based solutions for winery wastewater valorisation. *Ecological Engineering*, v. 169, p. 106311, 2021.

RIBEIRO, N. M. Prospecção Tecnológica. Vol. 1. Coleção PROFNIT. Salvador: IFBA, FORTEC, 2018.

RODRIGUES, M. M. V. Z. **Utilização de wetlands construídos no tratamento de águas residuais: uma visão geral**. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ROZEMA, E. R.; ROZEMA, L. R.; ZHENG, Y. A vertical flow constructed wetland for the treatment of winery process water and domestic sewage in Ontario, Canada: Six years of performance data. *Ecological engineering*, v. 86, p. 262-268, 2016.

SÁNCHEZ, M.; GONZALO, O. G.; YÁÑEZ, S.; RUIZ, I.; SOTO, M. Influence of nutrients and pH on the



efficiency of vertical flow constructed wetlands treating winery wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 42, p. 102103, 2021.

SEHAR, S.; NASSER, H. A. A. Wastewater treatment of food industries through constructed wetland: a review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, p. 6453-6472, 2019.

SERRANO, L.; DE LA VARGA, D.; RUIZ, I.; SOTO, M. Winery wastewater treatment in a hybrid constructed wetland. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 5, p. 744-753, 2011.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 151-158, 2015.

SHEPHERD, H. L.; TCHOBANOGLOUS, G.; GRISMER, M. E. Time-Dependent Retardation Model for Chemical Oxygen Demand Removal in a Subsurface-Flow Constructed Wetland for Winery Wastewater Treatment. **Water Environment Research**, v. 73, n. 5, p. 597-606, 2001.

SHERIDAN, C.; HILDEBRAND, D.; GLASSER, D. Turning wine (waste) into water: toward technological advances in the use of constructed wetlands for winery effluent treatment. **AIChE Journal**, v. 60, n. 2, p. 420-431, 2014.

ZINATO, T. M. C., & GUIMARÃES, M. M. Estudo sobre a utilização de “wetlands” construídas para tratamento de águas residuárias no Brasil. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 27-30, 2017, Campo Grande, Brasil. **Anais [...]**. IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2017.