

## **Processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis aplicáveis ao arranjo produtivo local de confecções do Agreste Pernambucano**

**Advanced oxidative processes in the treatment of textile effluents applicable to the local production arrangement of clothing factories in the Agreste Pernambucano**

**Procesos oxidativos avanzados en el tratamiento de efluentes textiles aplicables al arreglo productivo local de fábricas de confección en el Agreste Pernambucano**

Recebido: 11/01/2024 | Revisado: 20/01/2024 | Aceitado: 21/01/2024 | Publicado: 24/01/2024

**Cássia Gisele Dias Porto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0702-5513>  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
E-mail: [cassia.porto@ufpe.br](mailto:cassia.porto@ufpe.br)

**Gilson Lima da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2484-3590>  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
E-mail: [gilson.lsilva@ufpe.br](mailto:gilson.lsilva@ufpe.br)

**José Floro de Arruda Neto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7586-2997>  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
E-mail: [floro.arruda@ufpe.br](mailto:floro.arruda@ufpe.br)

**Maria Clara Rocha dos Santos Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8754-3894>  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
E-mail: [mariarocha.silva@ufpe.br](mailto:mariarocha.silva@ufpe.br)

### **Resumo**

O crescimento das cidades nas últimas décadas é responsável pelo aumento da pressão antrópica sobre os recursos naturais, em especial nos corpos hídricos. Os impactos ambientais causados pelo lançamento de efluentes nem sempre são detectados de forma prévia. Considerando essa problemática, esse trabalho possui como objetivo a investigação e a análise dos POAs, e da viabilidade de aplicação desses processos no Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano e nas indústrias em geral. Para a execução da pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre POAs com base na metodologia PRISMA de análise sistemática, em conjunto com o software VosViewer. A investigação foi realizada devido a importância do APLCAPE e a necessidade de aplicação de novos métodos para tratamento dos efluentes têxteis. Através da análise e da revisão dos artigos da base de dados da Scopus e da Web of Science, foi constatado que os processos a base do reagente Fenton foram estudados no período referencial, havendo destaque para a aplicação da fotocatalise. A pesquisa também constatou que as citações mais evidentes nos artigos científicos relativos aos POAs são as palavras indústria têxtil, tratamento de águas residuais e oxidação. Esses processos de tratamento são possíveis de serem implementados no APLCAPE, a utilização dos POAs pode ser uma alternativa eficaz para a redução dos impactos ambientais gerados pelos efluentes têxteis. Com o emprego dessas técnicas de tratamento é possível promover a sustentabilidade ambiental atrelada ao desenvolvimento sustentável. Mesmo assim, ainda existem lacunas a respeito dessas técnicas de tratamento de efluentes.

**Palavras-chave:** Corpos hídricos; Processos oxidativos avançados; Análise sistemática; Efluente têxtil.

### **Abstract**

The growth of cities in recent decades is responsible for increased human pressure on natural resources, especially water bodies. The environmental impacts caused by the discharge of effluents are not always detected in advance. Considering this problem, this work aims to investigate and analyze the POAs, and the feasibility of applying these processes in the Local Production Arrangement of Clothing in Agreste Pernambucano and in industries in general. To carry out the research, a bibliographic review was carried out on POAs based on the PRISMA systematic analysis methodology, together with the VosViewer software. The investigation was carried out due to the importance of APLCAPE and the need to apply new methods for treating textile effluents. Through analysis and review of articles in the Scopus and Web of Science databases, it was found that processes based on the Fenton reagent were studied in the reference period, with emphasis on the application of photocatalysis. The research also found that the most evident citations in scientific articles relating to POAs are the words textile industry, wastewater treatment and oxidation. These treatment processes are possible to be implemented in APLCAPE, the use of POAs can be an effective alternative for reducing the environmental impacts generated by textile effluents. By using these treatment techniques,

it is possible to promote environmental sustainability linked to sustainable development. Even so, there are still gaps regarding these effluent treatment techniques.

**Keywords:** Water bodies; Advanced oxidative processes; Systematic analysis; Textile effluent.

### Resumen

El crecimiento de las ciudades en las últimas décadas es responsable del aumento de la presión humana sobre los recursos naturales, especialmente los cuerpos de agua. Los impactos ambientales provocados por el vertido de efluentes no siempre se detectan con antelación. Considerando esta problemática, este trabajo tiene como objetivo investigar y analizar los POA y la factibilidad de aplicar estos procesos en el Régimen de Producción Local de Indumentaria en Agreste Pernambucano y en las industrias en general. Para realizar la investigación se realizó una revisión bibliográfica sobre los POA basada en la metodología de análisis sistemático PRISMA, junto con el software VosViewer. La investigación se realizó debido a la importancia de APLCAPE y la necesidad de aplicar nuevos métodos para el tratamiento de efluentes textiles. A través del análisis y revisión de artículos en las bases de datos Scopus y Web of Science, se encontró que en el período de referencia se estudiaron procesos basados en el reactivo de Fenton, con énfasis en la aplicación de la fotocatalisis. La investigación también encontró que las citas más evidentes en artículos científicos relacionados con los POA son las palabras industria textil, tratamiento de aguas residuales y oxidación. Estos procesos de tratamiento son posibles de implementar en APLCAPE, el uso de POAs puede ser una alternativa efectiva para reducir los impactos ambientales generados por los efluentes textiles. Mediante el uso de estas técnicas de tratamiento es posible promover la sostenibilidad ambiental vinculada al desarrollo sostenible. Aun así, todavía existen lagunas respecto a estas técnicas de tratamiento de efluentes.

**Palabras clave:** Cuerpos de agua; Procesos oxidativos avanzados; Análisis sistemático; Efluente textil.

## 1. Introdução

A água é um recurso natural indispensável para a vida no planeta Terra. Esse bem possui um grande valor econômico, ambiental e social, sendo de fundamental importância para a sobrevivência do Homem e dos ecossistemas do planeta. Ela é, provavelmente, o único recurso natural que se relaciona com todos os aspectos da civilização humana, desde o desenvolvimento agrícola e industrial aos valores culturais e religiosos arraigados na sociedade. As primeiras formas de vida surgiram justamente graças à presença do oxigênio e da água, o que propiciou a sobrevivência desses seres e a sua perpetuação no planeta Terra (Remadi, 2020).

Esse recurso natural é único e essencial à vida de todos os seres vivos, sendo de fundamental importância a sua distribuição segura aos seres vivos. No entanto, este bem está gradualmente se tornando um recurso escasso e limitado devido à pressão de fatores climáticos e antrópicos. Compreender as fontes e a extensão da vulnerabilidade dos recursos hídricos é o primeiro passo para desenhar estratégias apropriadas destinadas a garantir água para vários usos. Isso indica que a água é parte integrante do ecossistema e interconectada a setores-chave, como energia e alimentos e serviços (Chhetri et al., 2020).

Um marco importante proposto pela ONU, aprovado em 2015 pela Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU), que contempla metas importantes para o uso racional da água, é a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Essa agenda prevê os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), criados pelo Grupo Interinstitucional das Nações Unidas. Os ODS correspondem a 17 objetivos, os quais contêm 169 metas e 241 indicadores globais (Nações Unidas Brasil, 2023). Esses objetivos se apoiam em pilares importantes e essenciais para a humanidade que são as pessoas, o planeta, a prosperidade, a paz e a parceria. Dentre os ODS, destaca-se o Objetivo 6, o qual, em síntese, discorre sobre o acesso a água potável e saneamento para todos. Composto por seis metas, o ODS 6 propõe, para até 2030: alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível a todos (6.1); acesso ao saneamento e higiene adequados (6.2); melhorar a qualidade da água, reduzindo a sua poluição (6.3); assegurar o uso sustentável e eficiente deste recurso, bem como reduzir a sua escassez (6.4); implementar a gestão de recursos hídricos (6.5) proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água (6.6) (Pnud & Ipea, 2019).

O setor industrial, em geral, é considerado um dos maiores poluentes dos corpos hídricos. A contaminação dos corpos hídricos pelo lançamento de compostos químicos orgânicos e inorgânicos nos seus canais é uma poluição industrial. A maior parte das indústrias, independentemente do segmento e área de atuação, utiliza água em seus processos produtivos. As indústrias de diferentes segmentos descarregam elevada quantidade de contaminantes no meio ambiente, sobretudo nos corpos

hídricos. Esta contaminação afeta tanto diretamente quanto indiretamente os seres vivos ao longo da cadeia alimentar, o que torna os poluentes, biodisponíveis, contaminando, inclusive, os seres humanos (Silva et al., 2019).

Devido a essa realidade, os processos físico-químicos têm sido uma alternativa viável no tratamento de efluentes, sendo alguns deles denominados como Processos Oxidativos Avançados (POAs), os quais atuam diretamente nas estruturas químicas dos corantes, sendo assim mais efetivos quando comparado ao uso das práticas comumente utilizadas (Batista, 2022). Os POAs têm sido consideravelmente associados à remoção de corantes do meio aquoso. Figueiredo (2016) relata que existem várias alternativas de tratamentos que têm sido utilizadas no tratamento dos efluentes têxteis, e que essas alternativas podem ser relacionadas em duas categorias. A primeira, em que o tratamento ocorre a partir de reações de oxidação, onde os corantes sofrem uma degradação na sua substância química, e a outra em que ocorre a remoção do corante. No entanto, de forma geral, esses métodos realizam apenas a transferência de fase do poluente, necessitando de um tratamento secundário. Com isso, surgem em destaque estudos sobre tratamentos e técnicas mais recentes e tecnologicamente viáveis, como os POAs.

O Agreste Pernambucano é um reconhecido polo de processos industriais, principalmente no que se refere a confecção têxtil. Nessa região, cerca de 800 milhões de peças de vestuário são produzidas anualmente. Em 2018, o faturamento do polo girou em torno de R\$3,5 bilhões anuais, e o setor empregou 120 mil pessoas diretamente (Ceci, 2018). Atualmente o faturamento anual deste setor industrial é, em média, R\$1,1 bilhão de reais e o rendimento médio bruto dos trabalhadores varia de R\$583,72 a R\$1.419,50, a depender da área de atividade do funcionário. Anualmente, o faturamento desses empreendimentos varia de R\$1.000.000 a R\$3.000.000, a depender da capacidade anual de produção, ressaltando a relevância econômica da atividade têxtil no Agreste de Pernambuco e, a geração de emprego e renda (Lima, 2022). Nesse contexto, os POAs podem ser utilizados como procedimentos mais sustentáveis de tratamento de efluentes têxteis que possuem corantes, contendo poluentes não biodegradáveis, já que possuem o potencial para degradar, seja parcialmente ou totalmente, essas moléculas que não são totalmente degradadas em sistemas biológicos de tratamento convencionais (Nunes, 2019).

Apesar dessa problemática ambiental, os recursos investidos pelas empresas no tratamento de seus efluentes muitas vezes são mínimos, apenas objetivando alcançar os padrões mínimos exigidos pelos órgãos fiscalizadores e pelas normas regulamentadoras. A legislação brasileira possui políticas de tratamento e destinação de resíduos de efluentes que propõem métodos de tratamentos locais de descarte adequados, mas, ainda existem muitas melhorias a serem feitas nesse sentido. Desenvolver novos métodos de tratamento e remoção de poluentes que sejam eficientes e ambientalmente amigáveis é de fundamental importância, principalmente quando se considera resíduos contaminados com metais pesados, uma classe de poluentes altamente contaminantes e tóxica aos seres humanos e meio ambiente em geral (Ambrósio et al., 2021).

O Brasil é um produtor têxtil considerável, principalmente analisando-se localmente a região do Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco. Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo o estudo, a investigação e a análise dos POAs, e da viabilidade de aplicação desses processos no APLCAPE e nas indústrias em geral. Para alcançar esse objetivo, foi executada uma revisão sistemática baseando-se no método da metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses*) para o embasamento teórico e discussões comparativas entre os métodos de tratamento que são utilizados para a diminuir o potencial poluidor de efluentes.

## 2. Metodologia

A metodologia utilizada para a execução desse estudo é classificada como exploratória e sistemática. Essa pesquisa realizou a revisão bibliográfica, a análise documental, a bibliometria e o embasamento científico para o tema. Segundo Pereira et al. (2019), a aplicação dessa técnica permite sintetizar sistematicamente os resultados empíricos existentes. Foi realizada uma revisão sistemática a respeito dos POAs. Essa revisão foi concebida com as bases de dados recentes e com a literatura da área de estudo.

Para alcançar esse objetivo foram analisados artigos indexados na plataforma da *Scopus* e da *Web of Science*, utilizando-se das seguintes palavras-chaves para a pesquisa: Efluentes Têxteis, Indústria Têxtil e Processos Oxidativos Avançados. Para um estudo mais direcionado, limitou-se o período da base de dados entre os anos de 2018 até 2022. Esse período mais recente de 5 anos foi escolhido devido ao fato de ser um período muito utilizado em pesquisas científicas, e pela lacuna de informações a respeito dos POAs no período atual. O emergente estudo sobre POAs foi se consagrando a partir de 2018 em diante.

A *string* utilizada na plataforma de bases da *Web of Science* foi: **Textile Effluents, Textile Industry and Advanced Oxidative Processes**. Através desse procedimento de pesquisa foram obtidos 11 artigos principais relacionados as palavras-chaves. A partir dessa etapa, foram importados da base de dados, em forma de arquivo txt. com tabulação, os artigos, relacionando a eles aos autores, resumo, abstract, ano de publicação e citações.

Ao se analisar a base de dados da *Scopus*, a *string* utilizada foi: **TITLE-ABS-KEY(ADVANCED OXIDATIVE PROCESSES) AND TITLE-ABS-KEY(TEXTILE INDUSTRY) AND (LIMIT-TO ( PUBYEAR,2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2018))**. Nesse caso, foram obtidos 20 artigos principais relacionados a *string* pesquisada. A partir dessa etapa importaram-se da base de dados, em formato de arquivo CSV., os artigos, relacionando a eles aos autores, resumo, abstract, ano de publicação e número de citações.

Para a seleção dos artigos, foi utilizada a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Metaanalyses*) como protocolo de pesquisa apresentado. Utilizou-se o método como suporte do processo de revisão, há as diretrizes PRISMA: “um conjunto mínimo de itens baseados em evidências para relatar em revisões sistemáticas e meta-análises”. Basicamente a PRISMA consiste em uma lista de verificação e um diagrama de fluxo (Stefani & Delgado, 2021). O objetivo do PRISMA é ajudar os autores a melhorarem o relato de revisões sistemáticas e metanálises. O PRISMA também pode ser útil para a avaliação crítica de revisões sistemáticas publicadas.

Para a aplicação da metodologia PRISMA na pesquisa avançada de documentos foram utilizados critérios de inclusão e exclusão para a composição do acervo dos artigos científicos em análise. Como critério de inclusão, no processo de aplicação de filtros da pesquisa, foram utilizados o filtro por ano de publicação, considerando o período de 2018 a 2022, tipo de documento, estabelecendo a tipologia de artigos científicos e revisões, e a linguagem das publicações, considerando-se que a linguagem da publicação presente dos artigos analisados nesse período é preponderantemente o inglês. Utilizando-se esses critérios de inclusão da pesquisa foram obtidos os 20 artigos da base de dados da *Scopus* e os 11 artigos da *Web of Science*. Foram estudados o Resumo, o *Abstract*, a Introdução e a Metodologia dos 31 artigos.

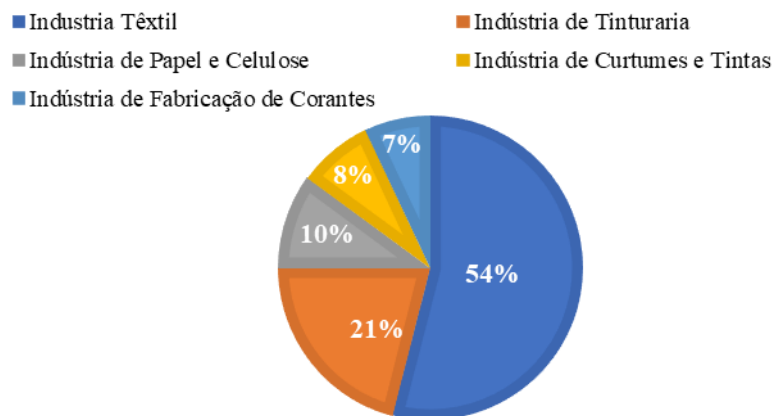
Logo após, com a base de dados já composta e os arquivos importados, foi executada uma metanálise com auxílio do software *VOSviewer*, capaz de elaborar mapas de rede com importantes informações relacionadas aos artigos selecionados. A busca por esses referenciais por meio do software de análise delimitou uma boa base de dados de revisão bibliográfica sobre temas consideráveis, utilizando-se dos arquivos importados da base de dados. A confecção dos mapas de rede e dos mapas de densidade estão demonstrados na seção de Resultados e Discussão. Para o estabelecimento de uma padronização da pesquisa seguiu-se, em relação a análise das duas bases de dados, a sequência do tipo de análise na seguinte ordem cronológica: análise de co-autoria (co-authorship) considerando-se autores e países, co-ocorrência (co-occurrence) das palavras-chave, citação (citation) de documentos, e co-citação (co-citation) dos autores citados.

### 3. Resultados e Discussão

É de comum consenso a descarga de diferentes tipos de indústrias, como indústrias têxteis, indústrias de papel e celulose, indústrias de corantes e intermediários de corantes, indústrias farmacêuticas, indústrias de curtumes, indústrias de

tintas e indústrias de branqueamento kraft são consideradas geradoras de uma grande variedade de poluentes orgânicos introduzidos na água natural. Nesse panorama, de acordo com o publicado por Velusamy et al. (2021), as indústrias têxteis geram metade dos efluentes corantes existentes no meio ambiente mundial, cerca de 54%. O Gráfico 1 representa a realidade da descarga de efluentes de corantes de várias indústrias, com as porcentagens representativas dos setores.

**Gráfico 1** - Comparação da Descarga de Efluentes de Corantes de Várias Indústrias.



Fonte: Autores (2023) adaptado de Velusamy et al. (2021).

A caracterização do Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano é fundamental para o entendimento do funcionamento das lavanderias locais. O APLCAPE faz parte da na mesorregião do Agreste de Pernambuco, e constituiu 17% do total de peças de jeans produzidas no Brasil no ano de 2019, resultando em cerca de 60 milhões de produtos no ano. Nesse período, Pernambuco foi o estado que mais produziu jeans no Brasil (Abravest, 2020). Entretanto, as lavanderias do APLCAPE são fontes poluidoras impactantes para a região, devido ao lançamento de efluentes gerados pelas etapas de beneficiamento.

O tingimento é um dos processos têxteis de maior impacto ambiental na região do APLCAPE, uma vez que a cor do efluente não apenas contribui para a degradação ambiental, como também representa um problema estético nos corpos d'água receptores tingimento. Outra preocupação associada aos processos de beneficiamento de produtos têxteis se encontra no elevado consumo de água, uma vez que o APLCAPE se encontra em uma região de baixa disponibilidade hídrica que constantemente sofre com a escassez de água.

A indústria têxtil no geral é uma grande consumidora de água. Segundo Behera et al. (2021), em seu trabalho intitulado de *A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: An integrated system design approach*, uma instalação têxtil com uma capacidade de produção diária de 8000 kg tem um consumo diário de água doce de cerca de 1,6 milhões de litros. Cerca de 25% da água de todo o consumo é necessária para os processos de tingimento e estamparia. De acordo com o estudo dos autores, em média, são necessários no mínimo 40 litros de água limpa para colorir apenas 1 kg de tecido, podendo aumentar de acordo com o material têxtil e o processo de tingimento. A água também é necessária para outros processos, como limpeza, lavanderia e lavagem de material têxtil tingido.

Segundo a pesquisa publicada por da Silva Filho et al. (2021), observou-se que, comercialmente, os processos de beneficiamento de jeans mais procurados pelas indústrias de confecções no APLCAPE, identificados na pesquisa, foram a estonagem (25%), tingimento (15%), tingimento com estonagem (25%) e a marmorização (15%), que juntos correspondem a 80% de toda a demanda. Individualmente, foi observado que nas maiores lavanderias, há uma maior preocupação com o funcionamento das ETEs.

De acordo com a literatura analisada, pode-se constatar que os principais POAs são: Químicos (processo Fenton); Fotoquímicos (incluindo O<sub>3</sub>/UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, foto-Fenton, fotocatalise heterogênea); Sonoquímicos (incluindo US, O<sub>3</sub>/US, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/US, fotocatalise/US, sono-Fenton); Eletroquímicos (oxidação anódica, eletro-Fenton, fotoeletro-Fenton, sonoeletro-Fenton). A aplicação dos POAs homogêneos e heterogêneos para o tratamento de efluentes das indústrias têxteis está recebendo grande destaque, sendo conveniente a ampliação de estudos sobre o tema.

Diferentemente dos POAs homogêneos, os POAs heterogêneos utilizam metal base de transição como catalizador, produzindo elevada energia cinética em curto período de tempo, e gerando menos lodo. Entretanto, segundo Azevedo et al., (2020), a otimização técnica-econômica desse catalizador em ambos POAs homogêneos e heterogêneos, é a direção chave para futuros estudos e pesquisas. Os sistemas homogêneos, se diferem dos heterogêneos por não possuírem a presença de óxidos semicondutores ou catalisadores sólidos além de que os radicais são gerados através da incidência de luz, para tanto utilizando a irradiação ultravioleta no comprimento de onda superior a 280 nm (Ferreira; Ferreira; Luna, 2021).

Já nos sistemas heterogêneos, segundo Chagas (2022), são utilizados catalisadores, especialmente óxidos metálicos que apresentem baixa solubilidade. Esses catalisadores em seu estado natural são considerados substâncias semicondutoras. Dentre os catalisadores, se destaca o dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) por ser o fotocatalisador mais amplamente estudado e utilizado para a catálise heterogênea pelo fato de ser considerado o mais fotoestável. Porém, pode-se utilizar outros como: CdS, ZnO, WO<sub>3</sub>, ZnS, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dentre outros. A combinação entre os processos oxidativos heterogêneos e a radiação UV tem cada vez mais destaque por possuir velocidades de degradação de ordem de grandeza maior, em comparação com as demais.

Como resultado da pesquisa pode-se citar alguns artigos estudados, que estão relacionados ao APLCAPE e a aplicação dos Processos Oxidativos Avançados. Como principais pode-se citar os artigos: *A review of the textile wastewater treatment technologies with special focus on advanced oxidation processes (AOPs), membrane separation and integrated AOP-membrane processes*; *A critical analysis of the alternative treatments Applied to effluents from Brazilian textile industries*; Caracterização dos Aspectos e Impactos Ambientais das Indústrias de Beneficiamento de Jeans. Estudo de Multi-Casos: Arranjo Produtivo Local do Agreste Pernambucano (APLCAPE) Caruaru-Pe; Diagnóstico Ambiental das Lavanderias de Jeans de Toritama – Pernambuco e Análise da importância do reúso da água em lavanderias de beneficiamento de jeans.

Esses artigos forneceram embasamento teórico para a compreensão e estudo da viabilidade de aplicação dos POAs no APLCAPE. Como contribuição ambiental principal, esses estudos demonstram que o uso de POAs pode ser implementado/aplicado no APLCAPE com sucesso para fins de reciclagem de efluentes de tingimento têxtil, redução de insumos utilizados e de custos associados aos processos produtivos. Pela análise desses artigos, constata-se que é possível diminuir o consumo de água e produtos químicos tratando-se os efluentes têxteis via aplicação dos POAs.

Através desses resultados de pesquisa pela metodologia PRISMA e da análise sistemática da literatura de estudo, é possível realizar uma inferência. A partir da análise foi possível comprovar que a eficiência de um determinado tipo de POA na degradação/destruição de contaminantes presentes no efluente gerado na região do APLCAPE depende de diversos fatores relacionados a cada modelo de indústria local. Pode-se mencionar exemplos desses fatores os parâmetros operacionais, composição química da água, cinética das reações e os mecanismos de degradação dos radicais livres.

### 3.1 Metanálise com a base de dados da *Web of Science*

Com a utilização do software *VOSviewer* e do arquivo importado da plataforma da *Web of Science*, foi possível aplicar a metodologia PRISMA para a execução da análise sistemática. Com o estudo dos Resumos, Abstracts, Introdução e do escopo do conteúdo dos artigos, foi possível notabilizar que dentre esses 11 artigos, 5 deles fazem menção aos processos oxidativos relacionados ao processo Fenton, o que evidencia a importância desse processo oxidativo. Realizando uma análise anterior, segundo o trabalho de Araújo et al. (2016), intitulado de Processos oxidativos avançados: uma revisão de

fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais, houve um crescimento nas publicações relacionadas ao tema POAs.

Há interesses nos POAs como uma possibilidade de aplicação. É possível observar o crescimento de artigos e pesquisas no que diz respeito aos POAs, ampliando as pesquisas para o desenvolvimento da aplicabilidade dos POAs. Esse resultado reflete no APLCAPE do Brasil devido a viabilidade e abrangência dos POAs que são aplicados em lavanderias pela necessidade de adaptação global dos processos produtivos e pelas exigências de agências reguladoras. O surgimento de novas pesquisas e possibilidades de tratamento de efluentes têxteis impacta positivamente nos processos produtivos do APLCAPE para tornar o ecossistema local tanto ambientalmente, quanto economicamente desenvolvido e eficaz.

Constata-se que, dentre os diversos tipos de POAs, tem se destacado aqueles baseados na reação de Fenton e suas variações devido à sua simplicidade de operação e baixo custo dos insumos (Nidheesh et al., 2013; De Boni & Camana, 2014). Observou-se também a prioridade de estudo e aplicações dos processos químicos, especialmente impulsionados pelos processos de ozonização amplamente empregados principalmente para solução de problemas ambientais (Chagas, 2022).

Segundo Vicente de Aquino (2015), o senhor Ricardo Gonçalves, gerente geral da conhecida empresa nacional Oxi Ambiental afirmou que um dos processos mais utilizados na indústria, não somente no Brasil, mas nos EUA e Europa, é o Reagente de Fenton. Ele é classificado como homogêneo e permite uma série de vantagens em comparação as demais técnicas, em especial aos tratamentos convencionais. Com o reagente de Fenton via tratamento in situ, além de não ser necessário a remoção da matriz contaminada (solo, água ou efluente) da área da empresa, o processo diminui os custos com transporte e disposição final das matrizes. Outra importante vantagem da tecnologia de oxidação química citada acima diz respeito ao tratamento dado aos contaminantes, que são degradados em compostos atóxicos e de baixa massa molar, reduzindo consideravelmente a carga orgânica original.

Partindo-se para a metanálise da base de dados da *Web of Science*, executada conforme a sequência cronológica mencionada na Metodologia dessa pesquisa, foram obtidos os mapas de rede de análise e de densidade. A primeira análise executada no *VOSviewer* foi a análise de coautoria (co-authorship). A coautoria é um indicador relevante para a rede de colaboração nas publicações dos artigos em periódicos científico. Com este respaldo, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar as parcerias, entre pesquisadores diferentes, na coautoria de artigos científicos publicados em periódicos.

Através dessa análise foi possível comprovar, como elucidado na Figura 1, que dentre essa base de dados, um dos autores mais citado como referência nesse tema é Jorge Marcos Rosa, com 32 citações, conjuntamente com Elias Basile Tambourg, Rosangela Maria Vanalle, Félix Martin Carbajal Gamarra, José Carlos Curvelo Santana e Maurício Campos Araújo. O artigo da análise em questão é denominado de *Application of continuous H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs and environmental impacts of textile effluents*.

**Figura 1** – Resultado da análise de coautoria por país com os dados da *Web of Science*.

Selected	Author	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	araujo, mauricio campos	1	32	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	carbajal gamarra, felix martin	1	32	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	curvelo santana, jose carlos	1	32	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	rosa, jorge marcos	1	32	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	tambourgi, elias basile	1	32	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	vanalle, rosangela maria	1	32	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	da rocha santana, rayany magali	2	21	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	do nascimento, grazielle elisandra	2	21	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	menezes bezerra duarte, marta maria	2	21	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	napoleao, daniella carla	2	21	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	divyapriya, g.	1	19	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	hamdani, mohamed	1	19	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	nidheesh, p. v.	1	19	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	titchou, fatima ezzahra	1	19	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	chowdhury, manjushree	1	16	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	rashid, m. m.	1	16	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	talukder, m. r.	1	16	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	correia de oliveira, julierme gomes	1	15	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	silva sales, deivson cesar	1	15	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	vieira charamba, livia carlini	1	15	1.00

Fonte: Autores (2023).

Realizando-se uma análise de co-autoria, levando-se em consideração os países nativos dos autores das publicações presentes na base de dados, obteve-se que o Brasil está na liderança de publicações relacionadas com a temática de POAs. Obteve-se como resultado que o Brasil possui 9 documentos e 77 citações na base de dados analisada, conforme é ilustrado na Figura 2 a seguir.

**Figura 2** – Resultado da análise de coautoria por país com os dados da *Web of Science*.

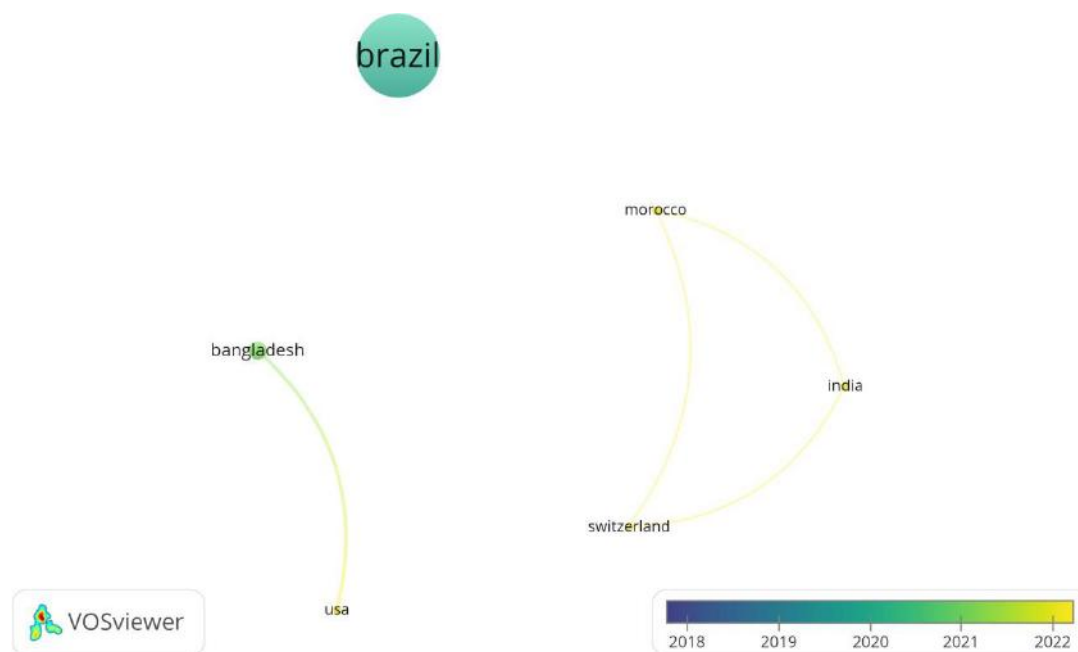
Selected	Country	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	bangladesh	2	18	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	india	1	19	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	morocco	1	19	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	switzerland	1	19	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	usa	1	2	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	brazil	9	77	0.00

Fonte: Autores (2023).

A Figura 3 é o mapa de visualização da densidade das publicações por país, ele reforça que o Brasil está em evidência nas publicações sobre o tema abordado em relação a base de dados estudada. O Brasil é o quarto país com a maior produção mundial de algodão, com 2,9 milhões de toneladas, atrás somente da Índia, China e Estados Unidos (Febratex, 2020).



**Figura 3** – Mapa de densidade resultante da análise de coautoria com os dados da *Web of Science*.



Fonte: Autores (2023).

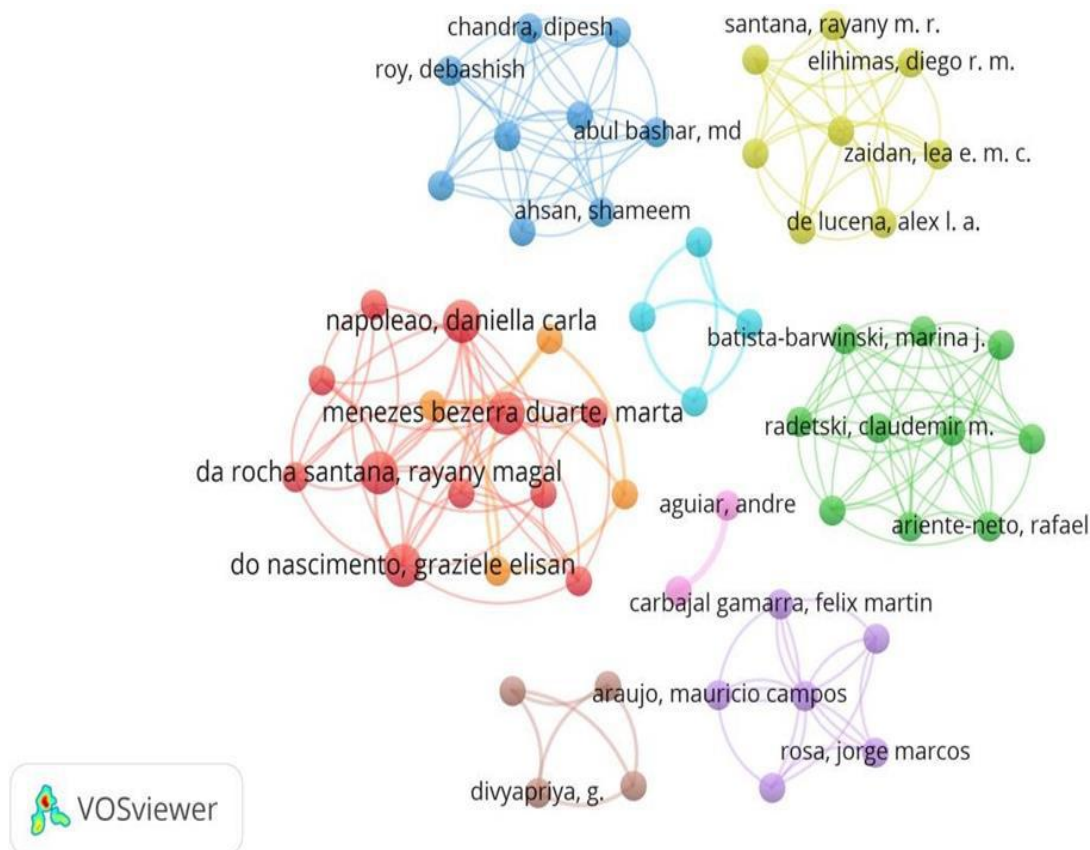
Essa evidência de publicações sobre o tema provavelmente está relacionada com a necessidade de se compreender e estudar melhor os POAs para implementar a prática nos diversos setores do país. Mesmo com esse esforço, é nítido que os artigos publicados referentes a base de dados brasileira são deficitários em termos estatísticos, sendo mais antigos, predominando artigos do ano de 2020. Enquanto outros países, como os Estados Unidos da América, Bangladesh, Suíça, Índia e Marrocos já publicam artigos mais recentes, datados entre os anos de 2020 e 2022.

Essa produção recente pode ter relação com a pandemia do Coronavírus encadeada em 2019. No Brasil, essa tecnologia ainda está em processo de desenvolvimento, dificultando sua implementação em alguns casos devido os custos relacionados as aplicações em escala industrial, sendo necessário a otimização de alguns fatores, como o custo das fontes de energia e o desenvolvimento de novos materiais catalíticos que possibilitem a utilização de luz solar, além de promover a combinação desses diferentes processos afim de eliminar as desvantagens das técnicas, quando utilizadas de forma individual (Chagas, 2022).

É possível inferir que a aplicação dos POAs na região do Agreste Pernambucano do Brasil não é notória pelo fato da crença cultural arraigada de processos de tratamento de efluentes convencionais e da falta de procedimentos operacionais mais concretos e produtivos. A tecnologia vinda da implementação do sistema de tratamento e reuso dos efluentes dos processos da lavanderia é o emprego de inovação em modelos pouco vistos. A utilização de qualquer tecnologia que não seja vinda de inovação incremental é observada de maneira positiva para o desenvolvimento da indústria (Silva & Xavier, 2020).

A Figura 4 elucida o mapa de redes característico dos artigos da base de dados. Os clusters (rede de associação) vermelho e laranja são os que estão com a associação em maior evidência, tratando-se de artigos mais antigos do período dos anos de 2019 e 2020, por isso uma maior rede associações. Os artigos que se relacionam nessa rede sistemática são: *Evaluation of the efficiency of coagulation/flocculation and Fenton process in reduction of colour, turbidity and COD of a textile effluent* e *Kinetic and ecotoxicological evaluation of the direct orange 26 dye degradation by Fenton and solar photo-Fenton processes*. Os demais clusters representados por outras cores (azul escuro, azul claro, amarelo, lilás, marrom, rosa e verde) mostram os autores responsáveis pelos demais artigos que não possuem uma relação notória entre si.

**Figura 4** – Mapa de redes de análise de coautoria com os dados da *Web of Science*.



Fonte: Autores (2023).

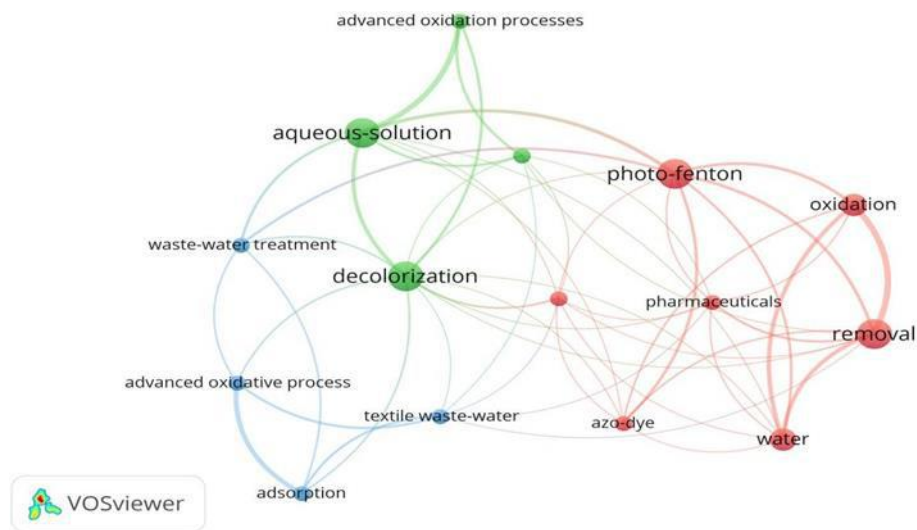
Em seguida, foi executada a análise de co-ocorrência, considerando-se todas as palavras-chave da linha de pesquisa. Na estrutura de um artigo científico, as palavras aparecem no título, nos resumos, no texto principal e nas palavras-chave constituindo-se, portanto, como itens representativos do conteúdo das publicações. Uma definição clássica da técnica de análise de co-ocorrência pode ser compreendida como “(...) a utilização do comportamento das palavras como meio para elucidar a estrutura das ideias e outros problemas representados em conjunto adequados de documentos” (Whittaker, 1989).

O princípio científico dessa análise consiste em um texto científico ou técnico que pode ser reduzido a um conjunto de aparições conjuntas entre palavras que o compõem e que são expressivas em vários outros textos relacionados com o tema da pesquisa. Essas palavras são a expressividade e a temática das pesquisas abordadas. Para essa fase de pesquisa, foi executada a pesquisa pelo *VOSviewer* dos 11 textos encontrados na *Web of Science*, na entrada de dados foi implementada as opções Co-occurrence, All Keywords (opção relativa a todas as palavras-chave dos 11 documentos).

Foi inserido um arquivo txt. chamado *thesauros*, utilizado para a substituição de palavras repetidas, que possuem mesmo significado e eventualmente estão presentes no escopo do texto dos artigos. Pode-se citar como exemplos dessas sentenças as associações *advanced oxidation process* e *advanced oxidative process*, que sugerem o mesmo significado nos trabalhos científicos apresentados, mas que estão presentes nesses diferentes formatos.

O mapa de análise de redes sistemáticas, presente na Figura 5, comprova que as palavras-chave do escopo do texto mais citadas são referentes aos processos de remoção de efluentes, aos POAs e as indústrias têxteis. Como destaque para uma maior quantidade de citações, segundo o *VOSviewer*, estão em evidência as sentenças com as palavras photo-Fenton, descolorização, remoção, solução aquosa, sendo citadas várias vezes nos artigos da base de dados.

**Figura 5** - Mapa de redes de análise de co-ocorrência com os dados da *Web of Science*.



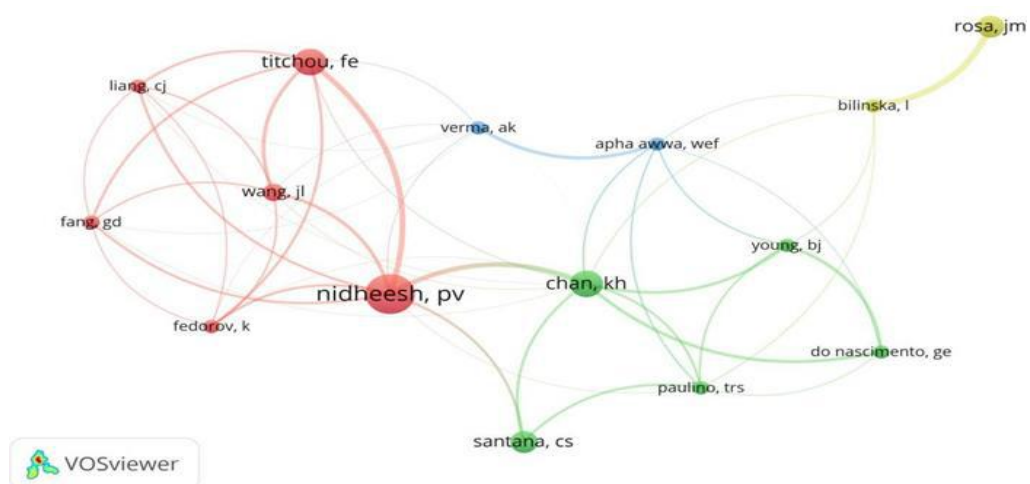
Fonte: Autores (2023).

Outra análise realizada foi o estudo bibliométrico de co-citação em relação aos autores do artigo. Estudos de cocitação são geralmente utilizados como técnica de análise de domínio ou para visualização e mapeamento de uma área específica do conhecimento produzido e publicado em teses e dissertações, artigos de periódicos, comunicações em eventos, dentre outros (Carvalho et al., 2021).

Pode-se definir a co-citação como a contagem das citações de dois documentos ou autores em um mesmo texto, ou seja, conta-se o par de citações como uma unidade, e essa contagem determina um potencial relação bibliográfica entre essas entidades (documentos ou autores) a partir do contexto do documento citante. A relevância da relação bibliográfica é analisada a partir de sua ocorrência em um grande conjunto de documentos (Carvalho et al., 2021).

Com os dados obtidos, é possível verificar que um dos maiores autores relacionados ao tema das palavras-chave em questão, é o Dr. Nidheesh P. V, com 13 citações externas em relação a base de dados. Tudo isso indica a experiência no assunto e a credibilidade perante a comunidade científica. A Figura 6 ilustra o mapa de rede obtido pelo *VOSviewer*, indicando com atenção o Dr. Nidheesh P. V como autor de destaque nas citações.

**Figura 6** - Mapa de redes de análise de co-citação com os dados da *Web of Science*.

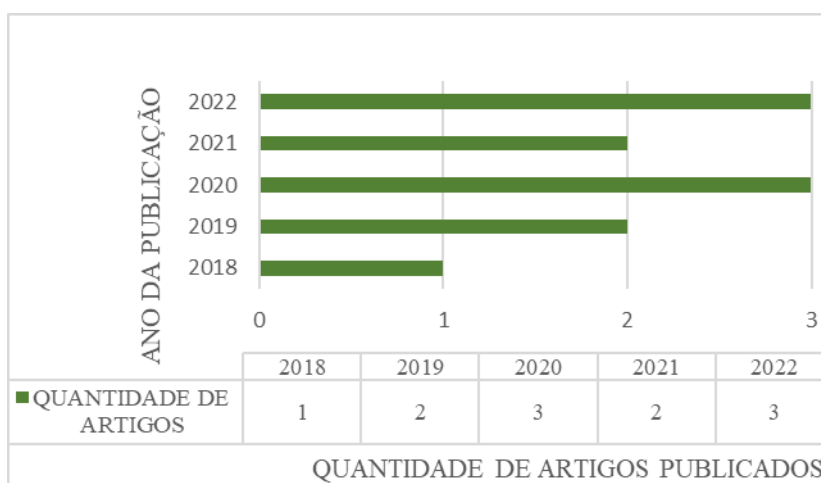


Fonte: Autores (2023).

Com os dados obtidos da análise de dados da *Web of Science* também foi possível comprovar que essa base de dados é relativamente menos vasta do que a base de dados da Scopus. Isso é evidente pela quantidade de artigos, ou seja, 11 artigos, em relação aos 20 artigos da base de dados da Scopus. Com isso, também foi analisada a quantidade de artigos, relativos ao tema dos POAs, que foram publicados na base de dados.

Através desse estudo, no período limitado entre os anos de 2018 a 2022, foi possível comprovar que os anos de 2020 e 2022 foram mais produtivos em relação a publicação científica. Os anos de 2020 e 2022 apresentaram 3 artigos em cada um desses anos respectivamente, indicando a discussão emergente sobre o tema dos POAs recentemente devido a necessidade de aplicação. O Gráfico 2 a seguir elucida a análise bibliométrica da quantidade de artigos e os respectivos anos da publicação.

**Gráfico 2** – Gráfico de análise dos dados dos artigos da *Web of Science*.



Fonte: Autores (2023).

Para uma melhor análise e compreensão dos artigos relacionados a base de dados, foi executada uma tabela que correlaciona os autores e seus artigos. A Tabela 1 é a tabela que informa o título do artigo, o ano da publicação, os autores responsáveis, e o escopo do artigo científico de estudo, com uma descrição do estudo. Com isso, ficou melhor a seleção para a etapa de inclusão dos 11 artigos da base de dados da *Web of Science*.

**Tabela 1** – Tabela dos artigos da base de dados da *Web of Science*.

REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO DO ESTUDO
<b>Treatment of textile wastewater by sulfate radical based advanced oxidation processes.</b> (Nidheesh <i>et al.</i> , (2022))	Nesta revisão, são discutidos os aspectos dos SR-AOPs para o tratamento de efluentes têxteis. A comparação dos desempenhos de SR-AOPs sobre HO• radicais baseados em AOPs é discutida no tratamento de efluentes têxteis.
<b>Treatment of Wastewater Containing New and Non-biodegradable Textile Dyes: Efficacy of Combined Advanced Oxidation and Adsorption Processes.</b> (Feuzer-Matos <i>et al.</i> , 2022)	Este estudo avaliou a eficiência de processos oxidativos e adsorptivos para remover esses corantes novos e recalcitrantes de efluentes têxteis.
<b>Magnetically recyclable core-shell structured Co<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@polyaniline nanocomposite: high stability and rapid boni</b> (Riyat <i>et al.</i> , 2022)	No presente estudo, um nanocompósito fotocatalisador, Cobalt-Zinc-Ferrite @Polyaniline (CZF@PANI) foi sintetizado via co-precipitação e métodos de polimerização oxidativa in-situ, para tratar corantes comerciais e efluentes industriais. O desempenho fotocatalítico de CZF@PANI foi validado pela degradação principalmente de laranja reativo (RO-14) e vermelho disperso (DR-1) e exibiu degradação superior (>99%). Foi comprovado que a síntese simples dos compósitos, alta capacidade de degradação, excelente estabilidade e regenerabilidade podem fornecer um fotocatalisador altamente eficiente e econômico para remediação de água.

<p><b>Treatment of direct black 22 azo dye in led reactor using ferrous sulfate and iron waste for Fenton process: reaction kinetics, toxicity and degradation prediction by artificial neural networks.</b></p> <p>Gomes <i>et al.</i>, (2021)</p>	<p>Para substituir alguns dos reagentes utilizados no foto-Fenton POA por materiais de baixo custo, o presente estudo avaliou a degradação do corante preto direto 22 (DB<sub>22</sub>) sob radiação LED em meio homogêneo e heterogêneo (resíduo de ferro). O estudo mostrou que a aplicação de foto-Fenton POA heterogêneo é uma alternativa barata e eficaz para a degradação do corante.</p>
<p><b>A comparative study of photo-Fenton process assisted by natural sunlight, UV-A, or visible LED light irradiation for degradation of real textile wastewater: factorial designs, kinetics, cost assessment, and phytotoxicity studies.</b></p> <p>Souza <i>et al.</i>, (2021)</p>	<p>O presente trabalho tem como objetivo avaliar o tratamento do efluente da indústria têxtil via processos oxidativos avançados de foto-Fenton assistidos por diferentes fontes (luz solar natural, UV-A ou lâmpadas LED visíveis).</p>
<p><b>Textile wastewater treatment by underwater parallel-multi-tube air discharge plasma jet.</b></p> <p>Rashid; Chowdhury &amp; Talukder (2021)</p>	<p>Neste presente estudo, a degradação do modelo de corante têxtil WWs é realizada usando jato de plasma de descarga de ar de pressão atmosférica multitubos paralelos subaquáticos. A investigação revela que: o pH diminui, enquanto a condutividade elétrica (CE) aumenta nas águas deionizadas (DI) e modelos de WWs com o aumento da duração do tratamento com plasma.</p>
<p><b>Evaluation of the efficiency of coagulation/flocculation and Fenton process in reduction of colour, turbidity and COD of a textile effluent.</b></p> <p>Favero <i>et al.</i>, (2020)</p>	<p>O presente estudo investigou a eficiência dos processos físico-químicos de coagulação e floculação e processo oxidativo avançado de Fenton na redução dos parâmetros de cor, turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO) de um efluente real de uma indústria têxtil.</p>
<p><b>Application of continuous H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs and environmental impacts of textile effluents.</b></p> <p>Rosa <i>et al.</i>, (2020)</p>	<p>Este trabalho teve como objetivo aplicar o processo oxidativo avançado (POA) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV como alternativa para reduzir insumos, custos e impactos ambientais de efluentes têxteis. Desta forma, este trabalho contribui para o desenvolvimento sustentável de novos métodos a serem aplicados em sala de tingimento têxtil.</p>
<p><b>Kinetic study of the effect of methylene blue on the decolorization of other dyes by Fenton processes.</b></p> <p>Costa &amp; Aguiar (2019)</p>	<p>O presente trabalho avaliou a influência do corante Azul de Metileno na descoloração de outros corantes pelos processos de Fenton (Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fe<sup>3+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).</p>
<p><b>Degradation of Textile Dyes Employing Advanced Oxidative Processes: Kinetic, Equilibrium Modeling, and Toxicity Study of Seeds and Bacteria.</b></p> <p>Santana <i>et al.</i>, (2019)</p>	<p>Este estudo avalia os processos oxidativos avançados (POA) para uso na degradação dos corantes têxteis reativo vermelho 195 e preto direto 22 usando reatores de bancada. Além disso, o estudo avaliou a toxicidade da solução, tanto antes quanto após o tratamento, e verificou-se que a solução tratada era tóxica usando uma concentração de 10% de sementes de <i>Lactuca sativa</i> e <i>Syzygium aromaticum</i>.</p>
<p><b>Kinetic and ecotoxicological evaluation of the direct orange 26 dye degradation by Fenton and solar photo-Fenton processes.</b></p> <p>Santana <i>et al.</i>, (2018)</p>	<p>Este estudo avaliou a degradação do corante têxtil direto laranja 26 pelos processos Fenton e foto-Fenton (com radiação solar natural). A análise estatística, baseada no fatorial 23 indicou as melhores condições de trabalho, sendo: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 100 mg.L<sup>-1</sup> e pH 3-4, para ambos os POAs em que [Fe] = 1 e 5 mg.L<sup>-1</sup>, para foto-Fenton e Fenton, respectivamente. Os resultados dos estudos cinéticos demonstraram um bom ajuste ao modelo cinético não linear proposto por Chan e Chu, com valores de R-2 &gt; 0,996 (foto-fenton) e R-2 &gt; 0,939 (Fenton).</p>

Fonte: Autores (2023).

### 3.2 Metanálise com a base de dados da Scopus

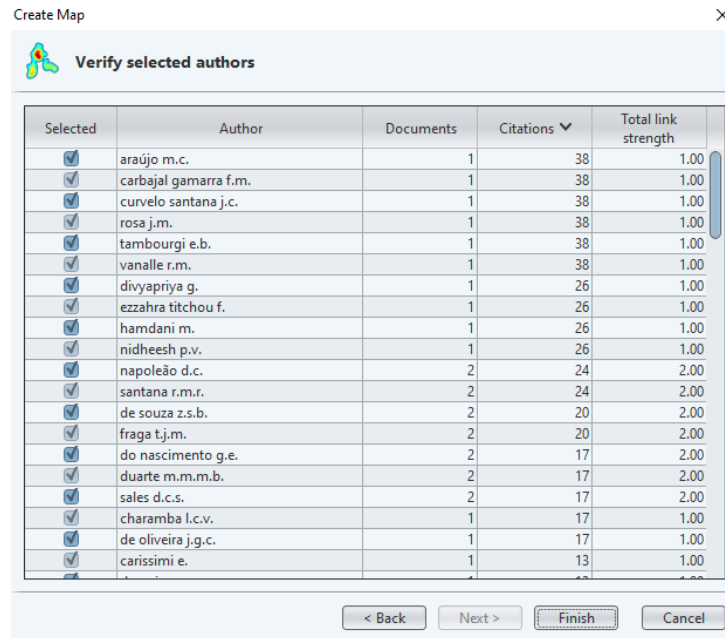
Com a utilização do software *VOSviewer* e do arquivo importado da plataforma da Scopus, foi possível aplicar a metodologia PRISMA. Para execução da metanálise dos dados da *Scopus*, foi aplicada a mesma metodologia praticada anteriormente com a base de dados da *Web of Science*, na mesma sequência cronológica adotada. Com a utilização do *VOSviewer* e do arquivo CSV, obtido da plataforma Scopus, foi possível executar uma análise bibliométrica.

Foi inserido também o mesmo arquivo txt., chamado thesaurus, para a substituição de palavras de mesmo significado. Ao optar pelo método de contagem facionário, a pontuação atribuída a representatividade de cada autor foi obtida de maneira igualitária e fracionária. Isso impede que artigos que foram publicados a mais tempo possuam a mesma validação de artigos recentes.

A primeira análise executada foi a análise de co-autoria. Nessa análise foi obtido que o trabalho mais citado foi o artigo *Application of continuous H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs*

and environmental impacts of textile effluents, de Jorge Marcos Rosa et al., mesmo resultado obtido pela base de dados da *Web of Science*. Nessa análise foram obtidas 38 citações, conforme a tabela ilustrada na Figura 7 a seguir.

**Figura 7** – Resultado da análise de co-autoria com os dados da *Scopus*.

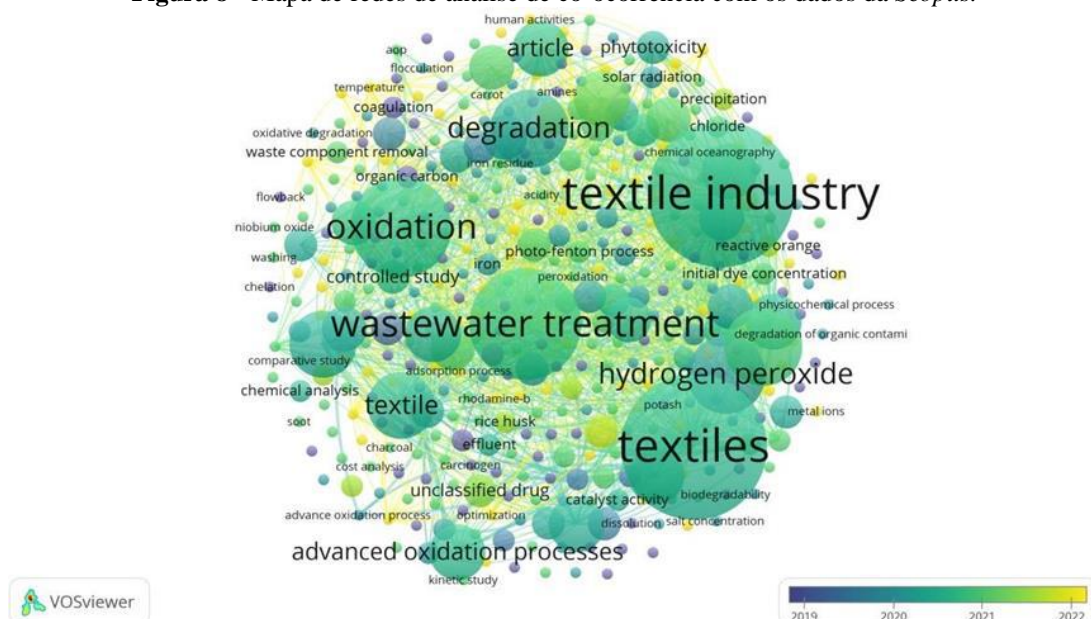


Selected	Author	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	araujo m.c.	1	38	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	carbajal gamarra f.m.	1	38	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	curvelo santana j.c.	1	38	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	rosa j.m.	1	38	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	tambourgi e.b.	1	38	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	vanalle r.m.	1	38	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	divyapriya g.	1	26	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	ezzahra titichou f.	1	26	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	hamdani m.	1	26	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	nidheesh p.v.	1	26	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	napoleão d.c.	2	24	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	santana r.m.r.	2	24	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	de souza z.s.b.	2	20	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	fraga t.j.m.	2	20	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	do nascimento g.e.	2	17	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	duarte m.m.m.b.	2	17	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	sales d.c.s.	2	17	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	charamba l.c.v.	1	17	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	de oliveira j.g.c.	1	17	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	carissimi e.	1	13	1.00

Fonte: Autores (2023).

Outra análise realizada foi a análise de co-ocorrência. Através desse procedimento foi possível analisar que as palavras de maior ocorrência nos artigos foram indústria têxtil (*textile industry*) com 13 ocorrências, tratamento de águas residuárias (*wastewater treatment*) com 10 ocorrências e oxidação (*oxidation*) com 9 ocorrências. Dentre outras palavras frequentemente presentes nos artigos pode-se citar as palavras degradação (*degradation*), peróxido de hidrogênio (*hydrogen peroxid*) e processos oxidativos avançados (*advanced oxidation process*). Como demonstra a escala temporal color do mapa de rede da Figura 8, essas palavras vêm ganhando destaque entre os anos de 2021 e 2022.

**Figura 8** - Mapa de redes de análise de co-ocorrência com os dados da *Scopus*.



Fonte: Autores (2023).

Em seguida, foi realizado o estudo bibliométrico que analisa as citações dos artigos coletados da base de dados, publicados nas revistas indexadas. Segundo Kroeff et al. (2015), a análise de citação é a parte da bibliometria que investiga as relações entre os documentos citantes e os documentos citados considerados como unidades de análise, no todo ou em suas diversas partes: autor, título, origem geográfica, idioma das publicações etc. Através da análise de citação por país foi possível comprovar que o Brasil possui autoria e referências em 12 artigos analisados, possuindo 119 citações, conforme ilustra a tabela da Figura 9 a seguir.

**Figura 9** – Resultado da análise de citação por país com os dados da *Scopus*.

Create Map ×

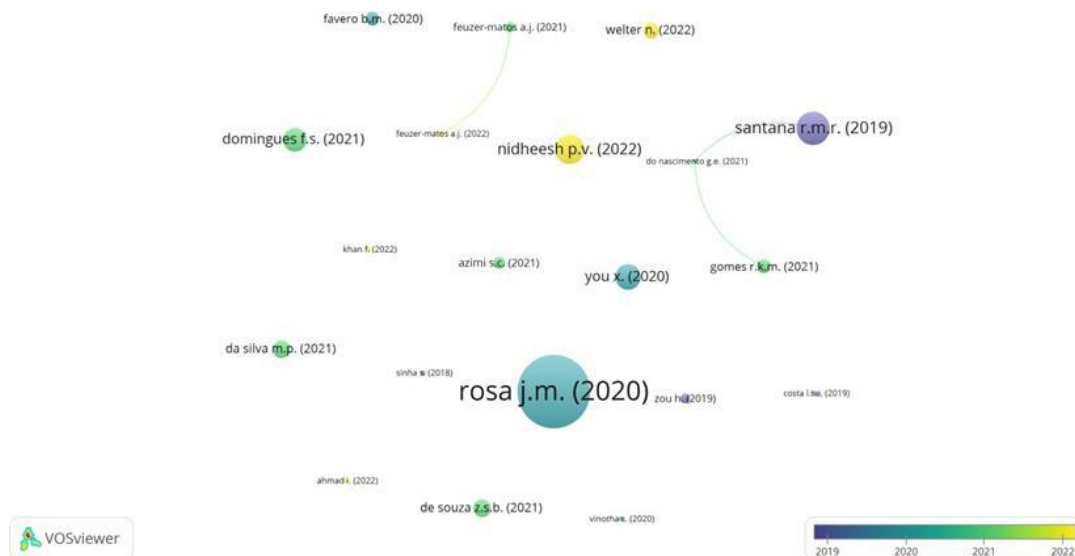
Verify selected countries

Selected	Country	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	brazil	12	119	3
<input checked="" type="checkbox"/>	ecuador	1	0	2
<input checked="" type="checkbox"/>	france	1	5	1
<input checked="" type="checkbox"/>	500	1	38	0
<input checked="" type="checkbox"/>	china	2	18	0
<input checked="" type="checkbox"/>	india	4	27	0
<input checked="" type="checkbox"/>	iran	1	7	0
<input checked="" type="checkbox"/>	mexico	1	13	0
<input checked="" type="checkbox"/>	morocco	1	26	0
<input checked="" type="checkbox"/>	pakistan	1	1	0
<input checked="" type="checkbox"/>	senai-sp	1	38	0
<input checked="" type="checkbox"/>	switzerland	1	26	0
<input checked="" type="checkbox"/>	uninove	1	38	0

Fonte: Autores (2023).

Contudo, os artigos publicados por brasileiros são relativamente menos atuais em relação as publicações de outros países. Com a análise de citação de documentos foi possível perceber que o autor mais citado na análise bibliométrica foi Jorge Marcos Rosa, indicando que esse autor possui uma vasta gama de trabalhos publicados. A Figura 10 a seguir é o mapa de rede da análise de citação por documento obtido no *VOSviewer*.

**Figura 10** - Mapa de redes de análise de citação com os dados da *Scopus*.



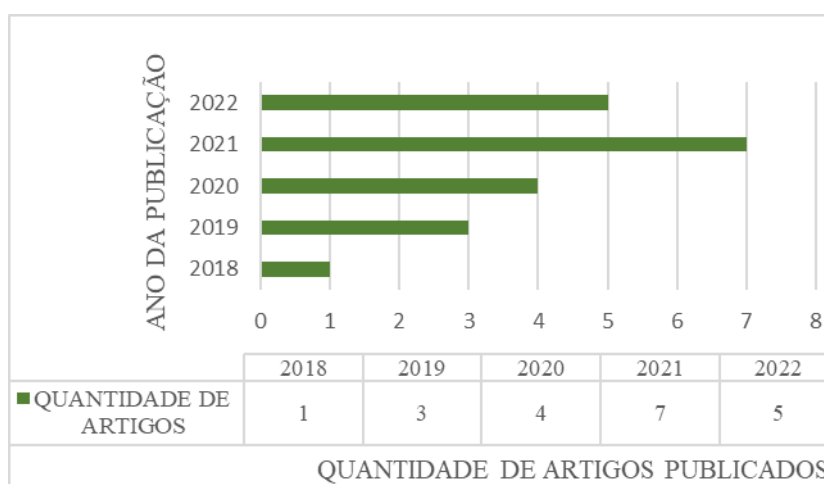
Fonte: Autores (2023).

Com os dados obtidos da análise de dados da Scopus foi possível comprovar a maior vastidão e amplitude dessa base de dados. Isso é notabilizado pela quantidade de artigos publicados no período analisado, 20 artigos entre os anos de 2018 e

2022. Avaliando a quantidade de artigos, relativos ao tema dos POAs, que foram publicados na base de dados, foi possível comprovar períodos de ascensão e declínio no número de publicações. Foi possível comprovar que o ano de 2021 é o ano que apresentou uma maior quantidade de publicações associadas, com 7 artigos notáveis.

Isso indica a discussão emergente e recente sobre os temas relacionados aos POAs devido a necessidade de aplicação, e provavelmente um impulso devido a pandemia do Covid-19. O Gráfico 3 correlaciona a quantidade de artigos e os respectivos anos da publicação. Esse gráfico demonstra que houve uma ascensão de estudos sobre o tema dos POAs entre os anos de 2019 e 2021. Entre os anos de 2019 a 2021 houve a publicação total de 14 artigos na base de dados analisadas.

**Gráfico 3** – Gráfico de análise dos dados dos artigos da *Scopus*.



Fonte: Autores (2023).

#### 4. Conclusão

Através da metanálise foi comprovado que os métodos tradicionais de tratamento de efluentes não degradam as substâncias mais tóxicas e racalcitrantes presentes nos corantes têxteis das roupas processadas em lavanderias. Esse fato pode acarretar a poluição dos corpos hídricos da região e, conseqüentemente, o risco de escassez de água e de contaminação hídrica da população local. Verificou-se também que os métodos tradicionais de tratamento de efluentes não degradam as substâncias mais tóxicas e racalcitrantes presentes nos corantes têxteis das roupas processadas em lavanderias.

A metanálise dos dados, das duas bases de dados estudadas, confirmou que o autor Jorge Marcos Rosa é um dos autores mais citados no estudo. Foi comprovado que o artigo intitulado *Application of continuous H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs and environmental impacts of textile effluents*, é um dos artigos recentes e citado em relação ao tema de estudo. Constatou-se também que o Brasil possui uma representatividade na gama de artigos científicos relacionados aos POAs. No Brasil essa tecnologia ainda está em processo de desenvolvimento devido à limitações como alto custo das fontes de energia, desenvolvimento de novos materiais catalíticos de baixo custo e construção de reatores em escala real.

A análise bibliométrica convergiu para a eficácia da aplicação do processo oxidativo avançado (POA) baseado no H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV e nas pesquisas relativas ao reagente Fenton como uma alternativa para reduzir insumos, custos e impactos ambientais de efluentes têxteis. Além disso, afirmou-se a eficácia dos processos de ozonização e o destaque para os POAs fotoquímicos, eletroquímicos e para as combinações entre esses. Com isso, há a possibilidade de degradação de substâncias químicas mais complexas, o que contribui para a mitigação da poluição industrial inerente aos processos empregados nas lavanderias têxteis.

Para a região do APLCAPE os processos fotocatalíticos são mais expressivos e viáveis para as lavanderias locais.



Pode-se destacar que a fotocatalise com  $\text{TiO}_2$  vem sendo aplicada com bastante otimismo na tecnologia de oxidação avançada para a eliminação de contaminantes de efluentes têxteis. A técnica pode ser considerada como alternativa promissora para o tratamento de efluentes contendo corantes, no entanto demanda mais estudos em outras condições de operação e com efluentes reais para diminuição de custos. Como contrapartida apresenta-se os processos de ozonização são uma alternativa viável, com uma eficiência na degradação de substâncias recalcitrantes considerável e com uma possível diminuição de custos.

Conclui-se que a eficiência de um determinado POA na degradação/destruição de contaminantes depende de diversos fatores como, parâmetros operacionais, composição química da água (presença de aditivos, sequestrantes), cinética da reação, mecanismos de degradação, geração de radicais livres (principalmente o radical hidroxila,  $\text{HO}\cdot$ ), e principalmente as condições de execução das lavanderias têxteis.

Com base nos dados encontrados na literatura científica, conclui-se que os POAs se tornam aplicáveis a nível industrial mediante a otimização dos fatores de eficácia. Fatores esses como custo das fontes de energia (radiação ultravioleta e reagente) e desenvolvimento de novos materiais catalíticos, que possibilitem a utilização de luz solar, além da combinação desses diferentes processos para eliminar as desvantagens das técnicas individuais. Assim, a combinação de vários POAs torna-se mais adequada para a degradação/destruição de espécies tóxicas e/ou recalcitrantes visto que resulta em uma maior geração de radicais hidroxila.

Vale destacar também que, apesar da remediação dos poluentes ser de suma importância, ressalva-se a necessidade da ampliação de estudos voltados a remediar o problema na fonte da poluição, nas rotas e técnicas do processo escolhido, e não apenas após sua geração. É preciso realizar investimentos de melhorias e barateamento para esses processos tão promissores, tornando-os viáveis a nível industrial. Essa ação é de extrema importância para o nosso país, pois além de representar o comprometimento com desenvolvimento científico e tecnológico de forma sustentável, irá proporcionar um ganho ambiental, a disponibilidade e preservação dessa substância tão essencial a vida, a água.

Nesse contexto atual, e de grande importância, é imprescindível novos trabalhos, testes, estudos e análises laboratoriais e práticas a respeito dos POAs e suas implicações no setor têxtil. Pode-se estimular trabalhos científicos que tratem não apenas do contexto de aplicação dos POAs, mas também as suas comparações práticas em outros modelos, uma abordagem sobre os custos financeiros de aplicação e sobre a metodologia de uso. Assim, será produzido um conhecimento científico prático que poderá acarretar na transformação da forma de tratamento dos efluentes têxteis.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), ao Grupo de Gestão Ambiental Avançada (GAMA), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e ao Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru-PE, por todo o apoio e incentivo para o desenvolvimento da pesquisa.

## Referências

- Abravest. Associação Brasileira de Vestuário. (2020). Pernambuco é o maior polo de jeans do Brasil. GBL Jeans. <https://abravest.org.br/site/pe-e-o-maior-polo-de-jeans-do-brasil-gbl-jeans/>.
- Ambrósio, N., Bernardi, J. L., Dallago, R. & Mignoni, M. L. (2021). Remoção de metais pesados de efluentes utilizando líquidos iônicos: uma revisão. *Brazilian Journal of Development*. 7(5), 50189-50209.
- Aquino, V. Processos Oxidativos Avançados Ganha Mercado e Pode Ser a Solução em Tratamentos Específicos. (2022). *Revista TAE Especializada em Tratamento de Água & Efluentes*. (22).
- Araújo, K. S., Antonelli, R., Gaydecza, B., Granato, A. C & Malpass, G. R. P. (2016). Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. *Revista Ambiente & Água*. 11, 387-401.
- Azevedo, P. G. F., Oliveira, D. C. S & Cavalcanti, L. A. P. (2020). Processos físicos e químicos para o tratamento de efluentes: uma revisão integrativa. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*. 7(17), 1667-1678.

- Batista, I. R. (2022). *Processos Oxidativos Avançados (POAs): Uma revisão da importância de fotocatalise na descoloração de corantes têxteis como o verde malaquita*. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Goiás. <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2591/1/TCC%20-%20Isabela%20Reis.pdf>.
- Behera, M., Nayak, J., Banerjee, S., Chakraborty, S., & Tripathy, S. K. (2021). A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: An integrated system design approach. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105277.
- de Carvalho, R. A., Muck, F. A., Corrêa, S. S., de Carvalho, C. P., & Caregnato, S. E. (2021). Métodos de seleção de autores para estudos de cocitação: como definir um ponto de corte. *Brazilian Journal of Information Science: Research Trends*, 15, e02109-e02109.
- Ceci, M. (2018). Com incentivos, indústria têxtil se consolida no Nordeste. *Tribuna do Norte*. <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/com-incentivos-industria-ta-xtil-se-consolida-no-nordeste/404095>.
- Chagas, C. C. Processos oxidativos avançados: revisão dos POAs aplicados ao tratamento de efluentes. (2022). Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal. <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46153>.
- Chhetri, R., Kumar, P., Pandey, V. P., Singh, R., & Pandey, S. (2020). Vulnerability assessment of water resources in Hilly Region of Nepal. *Sustainable water Resources Management*, 6, 1-12.
- da Silva Filho, A. R. A., Duarte, A. D., Pedrosa, T. D., da Silva, G. L., & dos Santos Pessoa, S. G. (2021). Análise da importância do reuso da água em lavanderias de beneficiamento de jeans. *Research, Society and Development*, 10(6), e40710614402-e40710614402.
- de Boni, L. A. B., & Camana, J. (2014). Remoção do corante e reciclagem da água do efluente do ensaio de líquido penetrante através da eletrocoagulação e reação de FENTON. *Periódico Tchê Química*, 11(22).
- Febratex Group. *Conheça a situação do Brasil no setor de fibras têxteis*. (2020). <https://fcm.com.br/noticias/situacao-do-brasil-no-setor-de-fibrastexteis/#:~:text=Mercado%20das%20fibras%20t%C3%AAxteis%20no%20Brasil&text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20quarto,sua%20produ%C3%A7%C3%A3o%20ao%20mercado%20externo>.
- Ferreira, E. S. B., Ferreira, R. S. B., Luna, C. B. B., Araújo, E. M., & Lira, H. L. (2021). Hollow fiber membranes of several materials and their applications. *Research, Society and Development*, 10(1).
- Figueiredo, J. L. & Ribeiro, F. R. (2016). *Catálise heterogênea*. Lisboa.
- Kroeff, M. S., Gimenez, F. S., Vieira, R., & Pinto, A. L. (2015). Análise de citações dos artigos publicados em periódicos da área da Ciência da Informação que versam sobre gestão da informação. *Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação*, 11(1), 41-65.
- Lima, I. L. P. *Inovação nas rotas tecnológicas para implantação da ecologia industrial e economia circular no setor têxtil do agreste de Pernambuco: estudo de preceitos para a sustentabilidade setorial*. (2022). Dissertação de Conclusão do Programa de Pós-Graduação (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, Recife. <http://tede2.ufrpe.br:8080/tede/handle/tede2/8659>.
- Nações Unidas Brasil. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. (2023). <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>.
- Nidheesh, P. V., Gandhimathi, R., & Ramesh, S. T. (2013). Degradation of dyes from aqueous solution by Fenton processes: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 2099-2132.
- Nunes, G. R. (2019). *Geração e tratamento de efluentes da indústria têxtil*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30898>.
- Pereira, R. S., Santos, I. C., Oliveira, K. D., & Leão, N. C. (2019). Metanálise como instrumento de pesquisa: Uma revisão sistemática dos estudos bibliométricos em Administração. RAM. *Revista de Administração Mackenzie*, 20.
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) & Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2019). *Plataforma Agenda 2030*. <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>.
- Remadi Materiais Hidráulicos. (2020). A importância da água em nosso planeta. <https://www.remadi.com.br/noticia/a-importancia-da-agua-em-nosso-planeta>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- da Silva, R. F., da Silva, G. L., Milanez, V. F. A., & da Silva, R. O. (2019). II-034-estudo da toxicidade de efluente têxtil submetido à processo oxidativo avançado.
- Silva, B. L., & Xavier, M. G. P. (2020). Inovação e tecnologia em lavanderias de jeans do polo têxtil do agreste Pernambucano e a implementação das atividades de reuso de água. *Brazilian Journal of Development*, 6(6), 41458-41476.
- Stefani, S. R., & Delgado, C. (2021). Sustentabilidade organizacional e suas métricas: revisão sistemática utilizando o método PRISMA. *Revista Gestão em Análise*, 10(3), 204-219.
- Velusamy, S., Roy, A., Sundaram, S., & Kumar Mallick, T. (2021). A review on heavy metal ions and containing dyes removal through graphene oxide-based adsorption strategies for textile wastewater treatment. *The Chemical Record*, 21(7), 1570-1610.
- Whittaker, J. (1989). Creativity and conformity in science: Titles, keywords and co-word analysis. *Social Studies of Science*, 19(3), 473-496.