



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CAMPUS ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CÁSSIA GISELE DIAS PORTO

**PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAS) NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES TÊXTEIS APLICÁVEIS AO ARRANJO PRODUTIVO LOCAL DE  
CONFECÇÕES DO AGRESTE PERNAMUCANO (APLCAPE): Uma Breve Revisão**

Caruaru  
2023

CÁSSIA GISELE DIAS PORTO

**PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAS) NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES TÊXTEIS APLICÁVEIS AO ARRANJO PRODUTIVO LOCA DE  
CONFECÇÕES DO ARESTE PERNAMUCANO: Uma Breve Revisão**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Civil do Campus Agreste da  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE,  
na modalidade de artigo científico, como  
requisito parcial para a obtenção do grau de  
bacharel/licenciado em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Sustentabilidade  
Ambiental Aplicada à Engenharia Civil.

**Orientador (a):** Prof. Dr. Gilson Lima da Silva.

Caruaru

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, a Ele toda glória e gratidão por sempre me dar forças para seguir o caminho da espiritualidade e por sempre guiar meus passos para que eu pudesse chegar até aqui. Tenho certeza da sua proteção e de seus planos ambiciosos para a minha vida.

Agradeço aos meus pais, Cacília Dias Ferreira e Ângelo Antônio Porto, por sempre me apoiarem e fornecerem todo o suporte que eu precisei desde de que nasci, e por todos esses anos, por todo consolo quando precisei e toda vez que vibraram comigo com as vitórias conquistadas durante esses anos de graduação, sem eles nada seria possível. Agradeço também aos meu irmãos Ângelo Filho e Ana Beatriz, e toda minha família por sempre torcerem por mim e acreditarem no meu futuro.

Agradeço à todos os meus professores da educação formal, desde dos anos iniciais de ensino fundamental no Colégio Diocesanos de Caruaru, e aos grandes mestres que tive a oportunidade de aprender no ambiente acadêmico, principalmente ao corpo docente da UFPE. Agradeço também a meu amigo e guia acadêmico José Floro de Arruda, sem o qual o incentivo aos trabalhos acadêmicos, dedicação nos ensinamentos, orientações para o mundo acadêmico e transmissão de conhecimento não seria possível a conclusão desse curso tão especial para mim.

Agradeço imensamente ao meu orientador Gilson Lima da Silva, a quem admiro e estimo muito pelo seu caráter, inteligência e comprometimento. Sou grata pela confiança, parceria, estímulo e total apoio com o meu trabalho, por todos os conselhos e paciência desde que fui sua aluna até minha conclusão. O Prof. Dr. Gilson Lima da Silva me acompanhou desde do 1º período na Universidade Federal de Pernambuco e sempre tinha algo a ensinar a todos os que passam pela sua vida. Seus ensinamentos e postura profissional eu irei levar para o resto da vida com a total admiração e respeito.

Agradeço também aos meus amigos da universidade que na graduação foram essenciais, eu os levarei para o resto da vida. Em especial gostaria de agradecer aos meus amigos confidentes e apoiadores Kattarinne Maria Gomes de Barros e Síllas de Andrade Dias, que sempre estiveram presente em minha vida. Essas pessoas fizeram diferença na minha vida, e deixaram para sempre, na minha memória, os aprendizados ensinados.

*“Todas as mudanças no mundo, para o bem ou para o mal, começaram por meio de palavras”.*

*(Jackie Kennedy)*

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

APL	Arranjo Produtivo Local
APLCAP	Arranjo Produtivo Local de Confeccões do Agreste Pernambucano
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeccões
CAA	Centro Acadêmico do Agreste
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbônico Orgânico Total
CPRH	Agência Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Eh	Potencial Redox
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IEMI	Instituto de Estudos e Marketing Industrial
NBR	Norma Brasileira
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
POAs	Processos Oxidativos Avançados
PH	Potencial Hidrogeniônico
RMR	Região Metropolitana de Recife
REDESIST	Rede de Pesquisa em Sistemas Produtivos e Inovativos Locais
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
TSS	Sólidos Totais em Suspensão
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\text{CO}_2$	Dióxido de Carbono
$\text{HO}\bullet$	Radical Hidroxila
$\text{HO}_2\bullet$	Radical Hidroperoxila
$\text{O}_3$	Ozônio
$\text{Na}_2\text{H}_3\text{CO}_6$	Percarbonato
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6$	Persulfato de Sódio
$\text{H}_2\text{O}_2$	Peróxido de Hidrogênio
$\text{Fe}^{2+}$	Íon Ferroso
$\text{Fe}^{3+}$	Íon Férrico
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Óxido de Ferro (III)
$\text{H}^+$	Hídron
$\text{ZnO}$	Óxido de Zinco
$\text{ZnS}$	Sulfeto de Zinco
$\text{ZrO}_2$	Dióxido de Zircônio
$\text{TiO}_2$	Dióxido de Titânio
$\text{WO}_3$	Óxido de Tungstênio (IV)
$\text{Bi}_2\text{O}_3$	Óxido de Bismuto (III)

**Processos oxidativos avançados (POAs) no tratamento de efluentes têxteis aplicáveis ao Arranjo Produtivo do Agreste Pernambucano: uma breve revisão.**

**Advanced oxidative processes (AOPs) in the treatment of textile effluents applicable to the Agreste Pernambuco Productive Arrangement: A brief review.**

**Cássia Gisele Dias Porto<sup>1</sup>**

---

**RESUMO**

O crescimento das cidades nas últimas décadas foi responsável pelo aumento da pressão das atividades antrópicas sobre os recursos naturais, em especial os corpos hídricos receptores de efluentes industriais. Não obstante, os impactos ambientais causados pelo lançamento de efluentes nem sempre são detectados de forma prévia com métodos de análise de qualidade mais adequados. Considerando essa atual problemática, o presente trabalho intenciona contribuir para a investigação dos efeitos negativos do lançamento de efluentes sem tratamento prévio adequado nos corpos hídricos e uma avaliação sobre os Processos Oxidativos Avançados. Para a execução do trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre POAs com base na metodologia PRISMA de análise sistemática, utilizando-se do software *VosViewer*. Essa investigação foi realizada devido a importância do Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano e a urgente necessidade de aplicação de novos métodos para tratamento dos efluentes têxteis. Através da análise obtida, 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 de análise, havendo destaque também para a aplicação da fotocatalise. A pesquisa também constatou que as citações mais presentes 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. Assim, a utilização dos POAs pode ser uma alternativa eficaz para a redução dos impactos ambientais gerados pelos efluentes têxteis. Com o emprego dessas novas técnicas ecológicas para o tratamento de efluentes poluidores, é possível promover a sustentabilidade ambiental atrelada ao desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** processos oxidativos avançados; análise sistemática; efluentes têxteis.

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: cassia.porto@ufpe.br.

---

**ABSTRACT**

The growth of cities in recent decades has been responsible for increasing the pressure of human activities on natural resources, especially water bodies that receive industrial effluents. However, the environmental impacts caused by the discharge of effluents are not always detected in advance with more adequate quality analysis methods. Considering this current problem, the present work intends to contribute to the investigation of the negative effects of the release of effluents without adequate previous treatment in the water bodies and an evaluation of the Advanced Oxidative Processes. For the execution of the work, a bibliographic review on POAs was carried out based on the PRISMA methodology of systematic analysis, using the VosViewer software. This investigation was carried out due to the importance of the Local Productive Arrangement of Clothing in the Agreste region of Pernambuco and the urgent need to apply new methods for treating textile effluents. Through the analysis obtained, and the review of the articles in the Scopus database and the Web of Science, it was found that the processes based on the Fenton reagent were studied during the analysis period, with emphasis also on the application of photocatalysis. The survey also found that the most frequent citations in scientific articles related to AOPs are the words textile industry, wastewater treatment and oxidation. These treatment processes are possible to be implemented in APLCAPE. Thus, the use of POAs can be an effective alternative for reducing the environmental impacts generated by textile effluents. With the use of these new ecological techniques for the treatment of polluting effluents, it is possible to promote environmental sustainability linked to sustainable development.

**Keywords:** advanced oxidative processes; systematic analysis; textile effluents.

---

**DATA DE APROVAÇÃO:** 10 de Maio de 2023.



---

## 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 (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 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 altamente interconectada a setores-chave, como energia e alimentos (CHHETRI *et al.*, 2020).

Um marco importante proposto pela ONU, e 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, de modo 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 um exemplo de 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 confecções têxteis. 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 á R\$1.419,50, a depender da área de atividade do funcionário. Anualmente, o faturamento desses empreendimentos varia de R\$1.000.000 á 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 (NUNES, 2019). Pode-se analisar a importância de investir na realização de mais pesquisas a respeito dos pontos negativos dos POAs a fim de solucionar as limitações e restrições existentes para o emprego dessas técnicas. Essa atitude irá promover a efetivação do uso dessas tecnologias no tratamento de águas residuais e de efluentes industriais (ARAÚJO *et al.*, 2016).

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 para o embasamento teórico e discussões comparativas entre os métodos de tratamento que são utilizados para a diminuir o potencial poluidor de efluentes.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a viabilidade de aplicação dos Processos Oxidativos Avançados (POAs) em efluentes têxteis no APLCAPE.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar o Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano;
- Realizar pesquisa de revisão sistemática sobre Processos Oxidativos Avançados;
- Identificar vantagens e desvantagens dos POAs;
- Executar uma metanálise de artigos relacionados aos Processos Oxidativos Avançados;
- Analisar o tratamento de efluentes de lavanderias industriais da região do APLCAPE;
- Identificar a viabilidade dos POAs nas lavanderias industriais do APLCAPE;
- Avaliar os impactos ambientais gerados pelo uso de processos convencionais de tratamento.

---

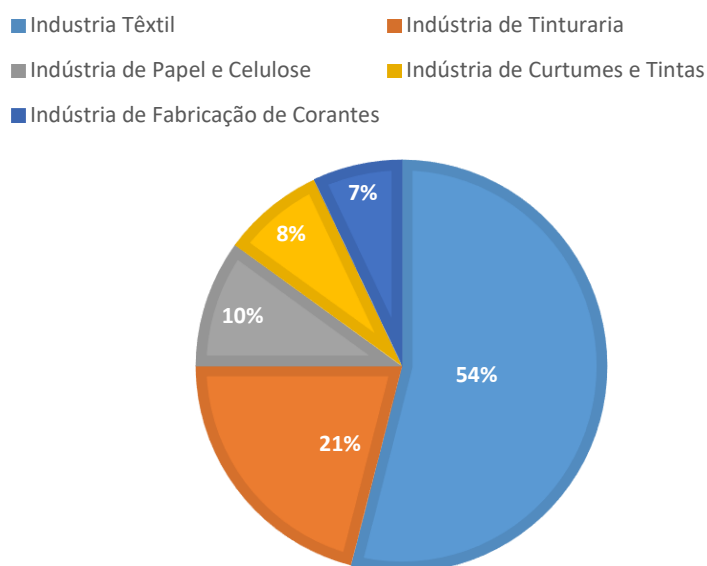
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Indústria Têxtil

Ao analisar sobre consumo de água e poluição industrial, a indústria têxtil é consideravelmente uma das que possuem maior consumo, o que leva à geração de um grande volume de efluentes que acarretam em poluição. A indústria têxtil, em específico no Brasil, é a quinta maior produtora do mundo e é considerada a segunda maior geradora de empregos, proporcionando conforto e segurança a muitas famílias e representando assim uma grande importância para a economia do país. Porém, seu ramo demanda muita água em seus processos de produção, considerando-se todas as fases (BATISTA, 2022).

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%. A Figura 1 é um gráfico ilustrativo da realidade da descarga de efluentes de corantes de várias indústrias, com as porcentagens representativas dos setores industriais expressivos.

**Figura 1** - Comparação da descarga de efluentes de corantes de várias indústrias



Fonte: Autora (2023) adaptado de VELUSAMY *et al.* (2021)

De acordo com Nidheesh *et al.* (2022), a indústria têxtil global é um exemplo de mercado em constante crescimento, e as operações de vários estágios da fabricação têxtil produzem uma enorme quantidade de águas residuais envolvendo produtos químicos orgânicos refratários, necessitando das metodologias de tratamento avançadas eficientes, escaláveis e economicamente viáveis. Os autores relatam que na estimativa do Banco Mundial, a indústria têxtil é considerada a indústria responsável por 17-20% da poluição industrial total. Além disso, a indústria têxtil é uma das maiores consumidoras de água, com um consumo de água doce de  $0,4 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ , o que equivale a 2,1% do consumo total de água industrial. Em última análise, a indústria gera águas residuais na faixa de 200 a  $350 \text{ m}^3$  por tonelada de produto fabricado.

Segundo Araújo, Ferreira & Ferreira (2017), as indústrias têxteis, em função de utilizarem recursos naturais, que consomem água e energia, geram emissões atmosféricas e resíduos sólidos. Entretanto, muitas delas já desenvolvem atividades e práticas sustentáveis com as precauções necessárias para a proteção do meio ambiente, envolvendo atividades como o tratamento das emissões, o tratamento dos efluentes e reutilização da água. Isso reflete direta e indiretamente nos resultados econômicos da empresa, gerando economia financeira e melhorando a performance do empreendimento.

A produção industrial de têxteis é um processo longo e complexo onde as fibras naturais ou artificiais são convertidas em fios e tecidos. As indústrias têxteis (Fiação, Tecelagem e Beneficiamento) têm como objetivos a transformação da matéria prima em produto acabado, ou seja, fibras (natural ou sintética) em fios, de fios em tecidos e de tecidos em peças de úteis, artigos para aplicações técnicas entre outras aplicações (VELUSAMY *et al.*, 2021).

Devido ao baixo custo de implantação e operação, no Brasil, a indústria têxtil faz uso majoritário dos tratamentos primários e secundários, englobando os procedimentos do tipo físico-químico seguidos dos biológicos, que muitas das vezes não são suficientes para remover todos os compostos de natureza agressiva. Por demandar de tecnologias mais caras e de pouca utilização, os tratamentos terciários, ou seja, tratamentos mais eficazes e avançados, são pouco difundidos e utilizados em território nacional (BENDER; SOUZA; VIDAL, 2019).

A indústria têxtil é uma das indústrias mais quimicamente intensivas, e seus efluentes são compostos por corantes, pigmentos, sólidos dissolvidos/suspensos e metais pesados. O tratamento de efluentes têxteis tornou-se uma tarefa necessária antes do seu devido descarte no meio ambiente (WEI *et al.*, 2020), já que gera resíduos desde o início do processamento até o final da cadeia produtiva (WITKOSKI, 2018). Dentre as diversas indústrias, a indústria têxtil é considerada uma das maiores contribuintes da poluição da água, uma vez que os resíduos gerados são de natureza muito complexa, contendo teor de cor e componentes tóxicos (KHAN;

ANAS; MALIK, 2019).

No processamento têxtil, as fibras são transformadas em fio e remodeladas no tecido e, em seguida, passam por várias etapas de processamento têxtil. Geralmente, as operações de processamento têxtil são divididas em duas categorias, sendo denominadas de processo seco e processo úmido. O processo seco precisa de água mínima que inclui as seguintes etapas: (i) abertura, cominação e mistura, (ii) cardação, (iii) penteação, (iv) fiação, (v) tecelagem e (vi) tricô. O processo úmido requer mais água, e incluem etapas como: (i) dimensionamento, (ii) desengomagem, (iii) lavagem, (iv) branqueamento, (v) mercerização, (vi) tingimento e (vii) impressão e acabamento (VELUSAMY *et al.*, 2021).

Em síntese, a cadeia têxtil inicia sua produção com o manuseio de fibras a seco, as quais podem ser de origem natural (algodão, lã, juta) ou sintética (náilon, poliéster) e, pelo processo de fiação, são transformadas em fios ou tecidos. Em seguida, vem a etapa de tecelagem e o acabamento aplicado nessa fase. Posteriormente, são executados os processos que compõem o beneficiamento, onde ocorre mercerização, alcalinização, purga, alvejamento químico e tingimento (SIDDIQUE *et al.*, 2017).

Durante os anos de evolução a produção têxtil foi ocupando um espaço significativo na economia, que de acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2019), em 2019 o Brasil estava ocupando a posição de quarto maior produtor e consumidor de denim no mundo, e como segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para o setor alimentício e bebidas (juntos) (DA SILVA, 2021).

O Brasil é um importante produtor mundial de artigos têxteis. O país possui a maior cadeia têxtil verticalizada do ocidente, contando com mais de 150 mil varejistas, empregados de forma direta e indireta. O setor somou cerca de 190 bilhões de reais faturados e teve produção média de 2,16 milhões de toneladas no ano de 2021 (ABIT, 2023). Porém, seu ramo demanda a utilização de água nas várias etapas de seus processos de produção e, consequentemente, esse fato acarreta a geração de efluentes têxteis na produção.

De acordo com as pesquisas recentes realizadas pelo Instituto de Estudos e Marketing Individual, o faturamento da cadeia têxtil e de confecção foi de R\$161 bilhões em 2020, contra R\$ 190 bilhões em 2021 (IEMI, 2022). O volume da produção têxtil foi de 1,91 milhões de toneladas em 2020 contra 2,16 milhões de toneladas em 2021. Isso resultou em 1,34 milhão de empregados diretos (IEMI, 2022) e 8 milhões de adicionarmos os indiretos e efeito renda, dos quais 60% são de mão de obra feminina. Sendo que em 2021, representou 19,5% do total de trabalhadores alocados na produção industrial e 6% do valor total da produção da indústria brasileira de transformação (ABIT, 2023).

Apesar disso, considerando-se também o efeito drástico da pandemia do COVID-19, o saldo comercial favorável gerado na balança comercial, segundo dados do Ministério da Economia, foi de US\$ 4,1 bilhões negativos em 2021, contra US\$ 3,5 bilhões negativos em 2020. Mesmo assim os investimentos no setor têxtil cresceram para R\$ 4,5 bilhões em 2020, em contrapartida aos R\$ 3,6 bilhões em 2019. A produção da confecção, ou seja, de vestuário, meias e acessórios, linha lar e artigos técnicos foi de 7,93 bilhões de peças em 2020 contra 9,05 bilhões de peças em 2019 (IEMI, 2021).

Recentemente, o Brasil tornou-se um país importador de produtos têxteis e confeccionados, ou seja, as importações passaram a exceder as exportações. Segundo dados do Ministério da Economia, as exportações geraram US\$ 1,06 bilhão em 2021, em contrapartida aos US\$ 801,8 milhões em 2020. O investimento no mercado têxtil, apenas em 2020, chegou a R\$ 4,5 bilhões que resultou em um volume de produção de 1,91 milhões de toneladas (DELTA, 2022). No entanto, apesar de ser um dos maiores produtores de têxteis, o Brasil não destina muito da sua produção ao mercado externo e possui forte concorrência com o mercado asiático (FEBRATEX, 2020).

## **2.2 Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano (APLCAPE)**

Os Arranjos Produtivos Locais (APLs) podem ser definidos como aglomerados de empresas em volta de uma atividade comum, que contam com a presença de organizações relacionadas e de instituições de apoio (SOUZA; BEZERRA; GONÇANÇALVES, 2020). Esse conceito foi criado tendo como exemplo as experiências de aglomerados econômicos iniciados nas décadas de 1960 e 1970 na Alemanha e na Itália. Sua formação é, geralmente, vinculada a trajetórias históricas de construção de identidades e de formação de vínculos territoriais, a partir de bases social, cultural, política e econômica em comum.

Pressupõem-se, nos APLs, ambientes favoráveis à interação, à cooperação e à confiança entre os atores, além de um potencial para o desenvolvimento. No Brasil, a Rede de Pesquisa em Sistemas Produtivos e Inovativos Locais (REDESIST) define o arranjo produtivo local como “aglomerações espaciais de agentes econômicos, políticos e sociais, com foco em um conjunto específico de atividades econômicas que apresentam vínculos e interdependência” (REDESIST, 2012).

Fazendo um recorte geográfico para o Nordeste do país, especificamente para o estado de Pernambuco, a indústria têxtil vem apresentando uma convincente expressão para o crescimento industrial do estado, e principalmente para o Arranjo Produtivo Local (ARAUJO

& FONTANA, 2017). No Nordeste está localizado o segundo maior produtor nacional, conhecido como o Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco. Esse Polo é considerado um aglomerado de iniciativas produtivas e comerciais relacionadas ao setor de confecções, que envolve os municípios de Agrestina, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Cupira, Riacho das Almas, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama e Vertentes. Este APL é reconhecido pela relevância para o desenvolvimento econômico local e pelas precárias condições de trabalho.

A origem do que hoje é denominado de Polo de Confecções do Agreste resultou da iniciativa de homens e mulheres situados em áreas preponderantemente rurais do Estado. A trajetória de constituição do referido arranjo foi marcada nos anos de 1950/1960, ganhando força no Agreste. Na história oral das cidades do Agreste, duas versões de como o aglomerado ganhou tamanha notoriedade são contadas e repassadas. Uma delas diz que uma senhora estava desesperada sem dinheiro e preparou algumas peças de roupa e as expôs em frente à sua casa. Diferentemente do que ela previa, a iniciativa deu certo e muitas pessoas passaram a comprar os produtos. Outra versão aponta que três comerciantes locais, Dedé Moraes, Manoel Caboclo e Pedro Diniz, por volta de 1949, passaram a trocar galinhas e feijão por sacos de retalhos em Recife e São Paulo, para revendê-los nas feiras e em suas casas. Como complemento de renda, suas esposas teriam assumido a confecção de cobertas feitas com tiras de tecidos. As peças produzidas eram destinadas às populações mais pobres e tinham como principal atrativo os preços baixos. (ESTEVEES & PEIXOTO, 2022).

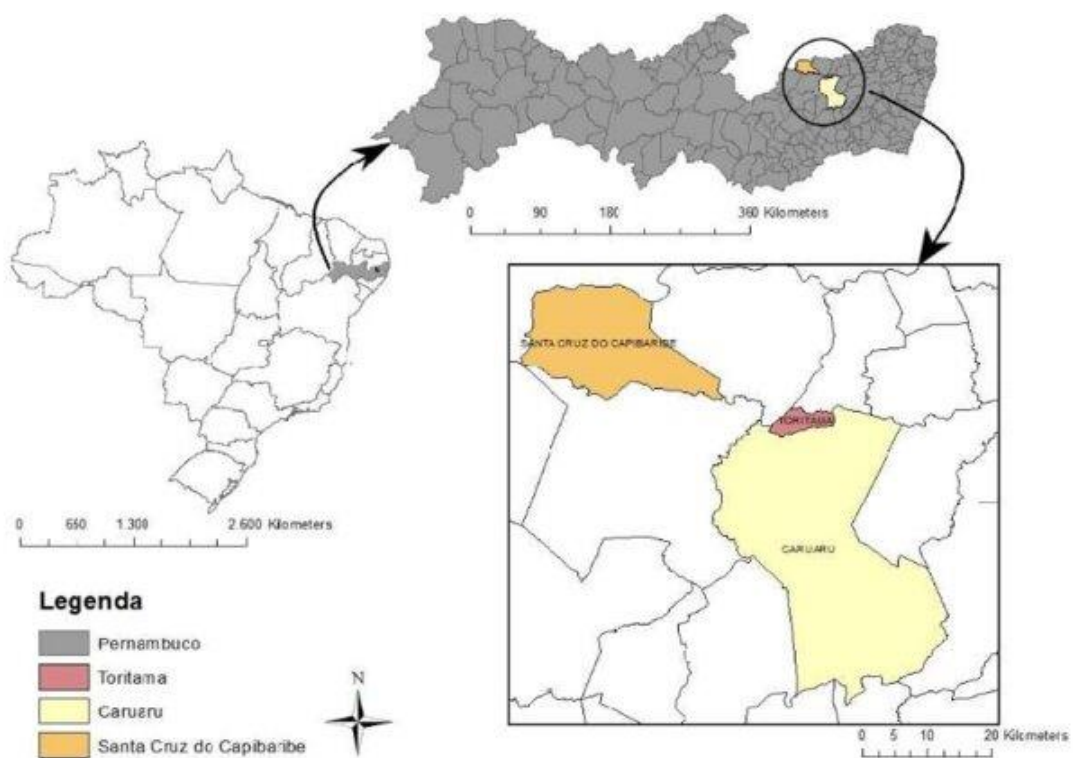
No panorama recente, em termos têxteis e de confecções, o Brasil apresentou bons resultados fechando o ano de 2018 na faixa de 2,5 bilhões exportados, enquanto que no ano anterior, em 2017, o valor estava em torno de 2,3 bilhões (MDIC, 2019). Isso evidencia a expansão do setor têxtil no Brasil. De acordo com o Estudo Econômico do APLCAPE, divulgado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), mencionado por Barros (2021), o faturamento anual bruto do Polo está próximo de R\$ 1 bilhão. São quase 20 mil unidades produtoras que empregam cerca de 130 mil pessoas.

Apesar de abranger mais municípios, os três municípios que possuem um maior destaque são Caruaru, Santa Cruz e Toritama. Atualmente, Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe se destacam por uma atenção mais detalhada à qualidade das roupas, e principalmente pelo seu maior atrativo, que é o preço baixo. Praticados de maneira bem parecida entre os três municípios, os valores das peças físgam as atenções locais e nacionais. A Figura 2 exhibe um recorte geográfico dessa região do Polo de Confecções do Agreste Pernambucano, com o destaque para essas três cidades.



O Agreste Pernambucano é o segundo maior polo de confecção têxtil no Brasil, cerca de 800 milhões de peças de vestuário são produzidas todos os anos tanto para o comércio nacional quanto para o internacional, segundo Agreste TEx (BORGES, 2020). O Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco se caracteriza como um conjunto de unidades produtivas, cujas atividades estão centradas na produção e comercialização de roupas e acessórios, em escala fabril, principalmente por meio de feiras que atraem compradores de toda a região circunvizinhada e de várias outras áreas do país.

**Figura 2** - Mapa do Brasil com destaque para as principais cidades do Polo de Confecções do Agreste



Fonte: SILVA *et al.* (2021)

O Agreste Pernambucano é o segundo maior polo de confecção têxtil no Brasil, cerca de 800 milhões de peças de vestuário são produzidas todos os anos tanto para o comércio nacional quanto para o internacional, segundo Agreste TEx (BORGES, 2020). O Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco se caracteriza como um conjunto de unidades produtivas, cujas atividades estão centradas na produção e comercialização de roupas e acessórios, em escala fabril, principalmente por meio de feiras que atraem compradores de toda a região circunvizinhada e de várias outras áreas do país.

Toritama, localizada no Agreste Setentrional de Pernambuco, merece um destaque particular. O local é conhecido como a capital do jeans, sendo o segundo maior polo de

confeção '*jeanswear*' do Brasil, responsável por 16% da produção nacional e a principal do Nordeste no segmento. A indústria de confecções local direciona a produção para as linhas de peças mais populares e com o preço menos elevado, mais acessível. Geralmente, as roupas são vendidas em pequenos comércios ou nas feiras de rua, as tradicionais *sulancas*. Mas, o mercado do jeans também exporta para todo o país, e além de abastecer os mercados local e nacional, os produtos são vendidos para o mercado internacional. (ESTEVES & PEIXOTO, 2021).

Segundo os dados do Estudo Econômico das Indústrias de Confeções de Toritama/PE, realizado em 2019, fornecidos pelo SEBRAE (ÀS MICRO, SEBRAE, 2019), o município de Toritama, é considerado o segundo maior polo de confecção *jeanswear* do Brasil, e tem mais de mil fábricas de jeans. Estima-se que o município responde por cerca de aproximadamente 15% das confecções de jeans, sendo considerado um dos municípios brasileiros que mais geram empregos para população no setor têxtil, centralizadas em confecção de lavagem e coloração de peças, para as vendas do produto local e internacional.

As lavanderias presentes no APLCAPE são fundamentais para que o acabamento desejado das confecções têxteis seja alcançado. Entretanto, é notório que elas podem provocar impactos ambientais positivos e negativos na área de influência direta do empreendimento. O primeiro é um impacto positivo, o impacto econômico, que gera riquezas e empregos, e o segundo, considerado negativo ao meio ambiente, é decorrente do lançamento de efluentes sem tratamento (ou parcialmente tratados) com um alto potencial poluidor, descarte inadequado de resíduos sólidos e emissões atmosféricas, provenientes principalmente da queima de combustíveis nas caldeiras sem um sistema de controle (DUARTE & SILVA, 2020).

### **2.3 Poluição Industrial**

Atualmente, um dos maiores problemas vividos pela sociedade está relacionado diretamente à poluição ambiental. A água residual, que é descartada pela fabricação de corantes e indústrias de acabamento têxtil, tornou-se um problema ambiental preocupante. Essa problemática vem instigando muitos pesquisadores a procurar e implementar métodos sustentáveis no que concerne ao gerenciamento da poluição industrial. A ocorrência generalizada de poluição hídrica e ambiental está colocando em risco a saúde e a sustentabilidade dos ecossistemas. Pode-se citar a poluição industrial como fonte de poluição dos recursos naturais indispensáveis para a sobrevivência. A deterioração da qualidade da água tem impacto negativo no meio ambiente, na saúde e na economia global (IBERDROLA, 2022).

A poluição industrial consiste em qualquer forma de poluição que tenha sua fonte imediata

de atividades realizadas por indústrias. Ela caracteriza-se pela emissão de resíduos poluentes na natureza proveniente das atividades de uma empresa, ou seja, os processos produtivos são os grandes responsáveis por lançar substâncias tóxicas no ar, na água e na floresta. Os agentes causadores da poluição industrial são os gases tóxicos liberados na atmosfera, os compostos químicos orgânicos e inorgânicos lançados nos corpos hídricos, e a poluição do solo com o uso de pesticidas (ESCOLA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL, 2012).

De forma geral, a poluição das águas pode ser definida como consequência da adição de substâncias, ou de formas de energia, que, diretamente ou indiretamente, alteram as características físicas e químicas do corpo d'água de uma maneira que prejudique a utilização das suas águas para usos benéficos (MORAIS, 2022). De acordo com a empresa espanhola Iberdrola (2021), os impactos gerados ao meio ambiente devido a poluição hídrica estão relacionados, de maneira direta ou indireta, com a escassez de água potável, com a extinção e mutações de espécies, com o desenvolvimento socioeconômico e com a produção de energia.

Alkaya *et al.* (2014) afirmam que as indústrias, considerando-se principalmente as lavanderias de jeans, estão entre as atividades industriais mais impactantes na área ambiental devido ao elevado potencial poluidor e a complexidade química dos efluentes gerados em decorrência da gama de produtos químicos utilizados nas etapas de beneficiamento de jeans. Diante desse cenário, a adoção de técnicas que visem a proteção, em especial dos recursos hídricos, é essencial nessa atividade, uma vez que a indústria de beneficiamento têxtil tem como principal insumo a água (ROCHA *et al.*, 2021).

Descargas de águas residuais industriais na rede de esgoto de organizações industriais exigem uma licença oficial. Essas licenças oficiais incluem os níveis máximos para um número limitado de certas substâncias, restrições quanto ao nível de pH e a temperatura, bem como o volume máximo permitido. Infelizmente, nem todas as organizações industriais seguem cuidadosamente esses limites e descartam regularmente grandes quantidades de resíduos industriais agressivos de forma ilegal (BURAS & DONADO, 2020).

Nesse sentido, é evidente que o problema da poluição industrial se agrava à medida que os descartes de efluentes são realizados em corpos hídricos da região, como o rio Capibaribe. Mesmo com a grande importância da bacia hidrográfica do rio Capibaribe para o Estado, o rio é alvo de degradação ambiental, como o descarte de resíduos sólidos em suas margens e leito, bem como com o lançamento de efluentes ao longo de seu curso (TEXEIRA *et al.*, 2021).

Esses impactos são acumulados e drenados até sua foz, onde atravessa a Região Metropolitana do Recife (RMR), recebendo mais uma grande quantidade de resíduos e de efluentes urbanos (SOUZA; COSTA; EL-DEIR, 2016). Esse rio é o principal responsável pelo

abastecimento de água dos municípios do Agreste pernambucano, o que vem acarretando problemas de qualidade da água local utilizada para abastecimento, elevando de certa forma o custo do tratamento pela empresa de saneamento público.

Em Pernambuco, um dos grandes problemas ambientais enfrentados pelo Órgão Ambiental CPRH, a Agência Estadual de Meio Ambiente, é a poluição hídrica provocada pelo lançamento de efluentes das indústrias têxteis, em especial aquelas localizadas na região do Agreste, especificamente no Polo de Confecções. As lavanderias do APLCAPE são fundamentais para que a produção têxtil possa ser realizada, entretanto pode provocar impactos ambientais positivos e negativos na área de influência direta do empreendimento (SILVA, 2015).

Considera-se que, as indústrias têxteis necessitam implementar métodos novos e mais coerentes para o tratamento de suas águas residuárias, evitando que grandes cargas de poluentes cheguem aos corpos hídricos e prejudiquem não somente a parcela ambiental do ecossistema, mas também a social e econômica (QUEIROZ *et al.*, 2019). Portanto, há a necessidade de tratamento dos produtos descartados para prevenir destruições do meio ambiente.

Frente ao exposto, é preciso analisar os parâmetros de qualidade da água recomendados pela Resolução CONAMA 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, sendo de responsabilidade do governo fiscalizar as situações de irregularidades das empresas que lançam efluentes. Os efluentes líquidos para serem lançados devem atender a legislação estadual, apresentando pH entre 5 e 9, temperatura inferior a 40°C e cor ausente (NT-202-CPRH, CONAMA 430/11). O nível mínimo de redução de DQO a ser exigido varia entre 70 e 90% dependendo da carga orgânica total gerada pela atividade poluidora. Para indústria têxtil, a redução de DQO deve ser de 80% (NT-202-CPRH) (SILVA, 2015).

Atualmente, verifica-se que a atividade de lavagem de jeans é a responsável pela maioria dos problemas de poluição observados na região do Agreste. As exigências desejadas da aparência do jeans no mercado é acelerada dentro do próprio processo de fabricação através do processo de lavagem tipo *stone washed* (lavadas a pedra), que, normalmente, por sua complexidade, é produzida em uma unidade independente ao processo de confecção. Esta etapa da produção de jeans pode ser realizada na própria empresa ou ser terceirizada (DA SILVA FILHO *et al.*, 2021).

Segundo Luiz & Valentim (2019), este processo de beneficiamento simula o desbotamento adquirido com o tempo (aparência envelhecida) utilizando pedras especiais e/ou enzimas. Por essa razão, surgiram as lavanderias de jeans como parte da cadeia produtiva desse produto. O surgimento dessa atividade gerou um impacto ambiental de grandes proporções. Uma vez que, para atingir o objetivo desejado na lavagem, é necessário utilizar água em abundância (DA

SILVA FILHO *et al.*, 2021).

Nesse panorama, as empresas responsáveis por essas atividades precisam se adequar à nova realidade de preservação dos corpos hídricos, a fim de combater os problemas de disponibilidade e conservação dos recursos naturais. Assim, está ocorrendo um processo de mudança de comportamento, e as empresas, seja por força de lei ou por conscientização, começam a adotar uma postura sustentável (ROCHA *et al.*, 2021).

As principais medidas que visam mitigar os efeitos dessas indústrias sobre os corpos hídricos estão atreladas a técnicas que visem o reuso da água e a substituição de produtos químicos mais poluentes por produtos que agredam menos o meio ambiente como: utilização da marcação no jeans por laser que substituir o jato de areia, o permanganato de potássio e o esmeril; outra técnica é o uso do ozônio, que reduz o uso da água e a utilização de produtos químicos (SINDILAV, 2017).

A poluição industrial é ainda mais potencializada levando-se em consideração que a grande maioria das lavanderias locais realiza o descarte dos seus efluentes produzidos sem o tratamento, ou até mesmo com um tratamento que é ineficiente. Segundo Ramasamy, Aragaw & Subramanian (2022), embora muito poucos estudos relataram o lançamento de microfibras na fase de produção, considera-se que o foco principal deve ser dado às lavanderias, pois a liberação de microfibra dos tecidos contribui com uma maior quantidade desta no ambiente.

A Figura 3 a seguir é um exemplo de poluição industrial que ocorre, ou seja, o lançamento direto de efluentes têxteis contaminantes no rio Capibaribe. Esse despejo é realizado pelas lavanderias de jeans da região Agreste. Muitas vezes esses efluentes são lançados nos corpos hídricos sem o tratamento apropriado e sem a verificação dos parâmetros de qualidade exigidos por normas.

**Figura 3** - Rio Capibaribe recebendo descarga de efluentes da industrial têxtil



Fonte: Áreas de Atuação – Indústria Têxtil. Felipe Ketzer (2019)

## 2.4 Efluente Têxtil

O efluente industrial é o líquido oriundo dos processos industriais. A parte líquida dos resíduos de determinado processo é denominada efluente. A composição do tipo de efluente é extremamente variável. Suas características físicas, químicas e biológicas dependem da natureza da indústria (tipologia); do tipo de matéria prima processada; das etapas de transformação utilizadas no processo; do porte da indústria e da implantação de sistemas de tratamento de efluentes e programas para a redução de resíduos e ou emissões (GAZOLA, 2020). Para o tratamento dos efluentes é comum a utilização das ETEs (Estação de Tratamento de Esgoto). Segundo Lins (2010), mesmo com monitoração permanente dessas estações, ainda há riscos ambientais devido ao despejo de efluentes que não podem ser totalmente degradados.

Fatores como toxicidade crônica, bioacumulação e carcinogenicidade demonstram a periculosidade dos efluentes industriais. A acumulação sistêmica de alguns desses compostos presentes nas águas residuais pode resultar em danos ao meio ambiente e à saúde humana (ARAÚJO, 2014). Diante da crescente preocupação com as questões ambientais, torna-se imprescindível o desenvolvimento de tecnologias ecologicamente corretas de tratamento de efluentes industriais. Tais tecnologias devem ter como objetivo qualificar, quantificar, controlar e tratar os efluentes através de processos sustentáveis, com a mínima geração de resíduos. (ARAÚJO, 2016).

Os efluentes são caracterizados por possuir um potencial de contaminação elevado em função dos corantes e outros aditivos, que conferem ao efluente final altos valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos, além de coloração acentuada proveniente da etapa de tingimento das peças de jeans (VIANA, 2019). Na prática, esses são os parâmetros indicadores fundamentais para a decisão de qual será o método a ser utilizado para tratar os efluentes.

Segundo Santana *et al.* (2019), os corantes têxteis merecem destaque, principalmente na região Nordeste do Brasil. Essas substâncias são amplamente utilizadas por microempresas dessa região do país, e uma alternativa passível de aplicação para a degradação dos corantes são os processos por Fenton e foto-Fenton solares. No contexto de uma produção mais limpa, em que o crucial é o tratamento de todo o material recalcitrante existente em seu efluente da forma mais abrangente e eficiente possível, surge o processo Fenton homogêneo.

O efluente industrial dos têxtil é o foco principal desta pesquisa. A indústria de tingimento têxtil consome grandes quantidades de água e produz grandes volumes de efluentes provenientes de diferentes etapas dos processos de tingimento e acabamento. As águas residuais

das unidades de impressão e tingimento geralmente são ricas em cores, contendo resíduos de corantes e produtos químicos reativos (NAVIN; KUMAR; MATHUR, 2018). Segundo Batista (2022), um número significativo de corantes permanecem fixados nos efluentes têxteis que são tóxicos, cancerígenos e mutagênicos para todos os seres vivos. Esses corantes tóxicos podem permanecer no ambiente por um período prolongado quando liberados sem tratamento.

O processo de tingimento e de lavagem executados pelas indústrias têxteis geram efluentes, nos quais os corantes que não são fixados totalmente nas fibras do tecido são despejados no meio aquoso. A seção de processamento úmido têxtil, ou comumente conhecida como seção de tingimento e acabamento, é considerada a maior contribuinte para a poluição ambiental entre os vários departamentos de processamento têxtil (HALIM; ISLAM; HOQUE, 2021).

Utilizando-se de muita água no processamento do tingimento, conseqüentemente gera-se muito efluente, que precisa ser tratado antes do lançamento no corpo hídrico (DORIA *et al.*, 2018). Isso transforma esse meio em um ambiente favorável para a solubilidade dessas substâncias. Para os autores, é por esse motivo que o efluente gerado apresenta baixa DBO e, conseqüentemente alta DQO, além de apresentar metais pesados, compostos cancerígenos e variação de pH e temperatura.

Cerca de 90% do consumo de água de toda indústria têxtil se dá no processo de tinturaria e acabamento, por isso, tanto fabricantes de insumos quanto universidades e centros de pesquisa no Brasil e no mundo vêm intensificando pesquisas para desenvolvimento de produtos e processos que não gerem resíduos ambientais e sejam mais enxutos e econômicos. Atualmente, estima-se que são conhecidos mais de 10 mil corantes sintéticos e mais de 7,5 milhões de toneladas de corantes sintéticos são produzidos em todo o mundo por ano (REVISTA QUÍMICA E DERIVADOS, 2021).

De acordo com Vasconcelos *et al.* (2022), os efluentes da indústria têxtil são uma mistura de grandes quantidades de água, corantes, metais, amaciantes, detergentes e vários outros produtos químicos que formam um efluente líquido complexo e tóxico com alta DQO, sólidos totais em suspensão (TSS), sólidos totais dissolvidos (TDS), nitrogênio total (TN), pH alcalino, salinidade e temperatura. Ainda segundo os autores, os corantes e aditivos como soda cáustica, carbonato de sódio e sais (usados no processo industrial) contribuem com diferentes presenças de metais em efluentes têxteis.

De acordo com Resende, Abrantes e Pellegrinetti (2016), em seus estudos em 2016 sobre a caracterização da qualidade da água, o efluente têxtil é dificilmente degradável. Esse tipo de efluente é de difícil degradação, fator que faz com que os corantes das indústrias têxteis serem considerados os que têm maior alcançabilidade de poluição, quando comparado aos demais

efluentes industriais gerados pelos demais setores da cadeia produtiva.

Em geral, estima-se que 15 a 50% da carga de corantes presentes nos efluentes, são oriundas das etapas de descoloração com uso de permanganato de potássio, tingimento e lavagem, sendo que uma parcela importante se mostra recalcitrante, ou seja, resistentes, frente a processos biológicos convencionais, mesmo utilizando-se rotinas anaeróbias-aeróbias sequenciais (ROCHA, 2021).

Devido à rápida industrialização, os corantes permaneceram os mesmos sintéticos, que são muito difíceis de degradar no meio ambiente. Esses corantes têxteis levam à poluição da água. A contaminação prolongada de corpos d'água pode levar a diversas doenças entre organismos aquáticos e outros organismos vivos, sendo alguns dos corantes cancerígenos. Os corantes são usados principalmente para colorir têxteis, tecidos, etc, e a classificação dos corantes pode levar em consideração vários fatores, como a origem, função e grupo químico (PATEL *et al.*, 2022).

Existem diversos tipos de corantes, e eles podem ser classificados por sua estrutura química, ou por seu método de fixação nas fibras. Com base na estrutura química do grupo cromofórico, os corantes podem ser classificados como corantes azo, antraquinona, trifenilmetano, heterocíclicos e poliméricos, dentre os quais azo, antraquinona e trifenilmetano são responsáveis pela maioria dos corantes têxteis produzidos (LIU *et al.*, 2021). Em suma, devido às estruturas dos corantes apresentarem anéis aromáticos, grupos aminas, íons metálicos e grupos sulfônicos, eles são preocupantes por causa da dificuldade de serem degradados de maneira natural.

No atual cenário de comprometimento da qualidade ambiental, o setor têxtil ganha destaque, sobretudo devido ao grande volume de efluentes que são gerados. Essas águas residuais são complexas devido à grande variedade de máquinas, de técnicas, de corantes e produtos empregados como dispersantes, ácidos, bases, sais, detergentes, umectantes e oxidantes, utilizados nas fábricas e no processamento dos têxteis (ALVES *et al.*, 2019).

O lançamento direto do efluente nos rios não só afeta negativamente a flora e a fauna, mas é a causa de várias doenças humanas. Apesar das consequências nefastas, os efluentes têxteis são continuamente lançados nos cursos de água sem qualquer tratamento prévio ou, por vezes, após tratamento parcial e inadequado, o que deteriora a qualidade da água receptora (KHAN; ANAS; MALIK, 2019).

Pela legislação, segundo Lino (2021), devem ser removidos todos os corantes utilizados pelo tingimento antes do descarte no corpo d'água/efluentes industriais. As indústrias têxteis utilizam grandes quantidades de água nos processos de tingimento e beneficiamento das fibras, gerando volumes elevados de efluentes contendo corantes, surfactantes, íons inorgânicos,



agentes umectantes, entre outros. Sendo assim, é relevante um planejamento ambiental propiciando o aumento da remoção dos corantes, redução das perdas no tingimento e reúso da água, sem afetar a qualidade do produto final (QUEIROZ *et al.*, 2019).

Na produção têxtil, o dimensionamento e o desengomamento produzem pequenos volumes de efluentes poluídos e concentrados. A limpeza é usada para remover impurezas de fibras, e envolve o uso de agentes de limpeza, como detergentes, sabões, álcalis, agentes umectantes, antiespumantes e lubrificantes, que resultam em contribuições significativas para DQO e sólidos suspensos em águas residuais têxteis. Tingimento e impressão são duas das etapas mais importantes do processo na indústria têxtil e conferir cor, metais e sais aos efluentes gerados (MIRZA *et al.*, 2020).

É evidente que a indústria têxtil descarrega águas residuais com uma vasta gama de poluentes. Muitos desses tipos de poluentes lançados são poluentes orgânicos biodegradáveis, porém muitos outros são recalcitrantes devido à sua estrutura química complexa e origem orgânica sintética, tornando o processo de tratamento muito desafiador. À medida que aumenta a demanda por produtos têxteis diversificados, aumenta também a quantidade e a variedade de efluentes poluídos. Esses efluentes são caracterizados por sua persistência em água, característica essa atribuída à sua complexa estrutura aromática e origem sintética (GOMÉZ-VANEGAS; OSORIO-ECHAVARRÍA; GAVIRIA-ARROYAVE, 2018).

## **2.5 Tratamento de Efluentes Industriais**

Os resíduos produzidos pela indústria em todos os setores são bastante diversificados na sua composição química, podem variar desde compostos inorgânicos a polímeros e produtos orgânicos e contém poluentes tóxicos e resistentes (recalcitrantes) aos sistemas convencionais de tratamento (ARAÚJO, 2014). Por isso, muitas vezes é difícil controlar e obedecer os parâmetros para os efluentes industriais estabelecidos pelas agências reguladoras. É importante desenvolver trabalhos envolvendo reações químicas para determinar a correta proporção entre os vários reagentes utilizados, bem como dos produtos obtidos (AQUINO, 2015).

O efluente de tingimento têxtil possui uma grande quantidade de componentes complexos com altas concentrações de orgânicos, de alta cor e características que se alteram. As águas residuais têxteis geradas pela indústria de tingimento de algodão são extremamente poluídas devido à presença de corantes reativos que não são prontamente passíveis de tratamento biológico. A água colorida causa escassez de luz, essencial para o desenvolvimento dos organismos aquáticos. Como resultado, essa circunstância acarreta um desequilíbrio no meio

ambiente. Portanto, antes da descarga de águas residuais têxteis no rio, muitos processos de tratamento, incluindo processos químicos, bioquímicos, físicos e híbridos, foram desenvolvidos para tratá-los de maneira econômica e eficiente (NAVIN; KUMAR; MATHUR, 2018).

O grau de tratamento necessário para um despejo é previsto de acordo com a função do corpo receptor daquele efluente, das características do uso da água a jusante do ponto de lançamento, da capacidade de autodepuração e da diluição do corpo hídrico. O processo de tratamento dos efluentes pode ser classificado em físico, químico e biológico de acordo com a natureza do poluente que se deseja remover, e se divide em etapas. Segundo Zanetti (2018), para evitar a poluição industrial muitas vezes é adotado, de forma geral, um tratamento baseado em etapas denominadas de tratamento primário, secundário, terciário e quaternário.

O tratamento de efluentes têxteis tornou-se uma tarefa necessária antes do descarte no meio ambiente. O efluente têxtil pode ser tratado por métodos convencionais, porém, as limitações dessas técnicas são o alto custo, a remoção incompleta e a produção de lodo concentrado (WEI *et al.*, 2020). Nos últimos anos, muitas tecnologias de tratamento biológico e físico-químico têm sido investigadas para a remoção dos contaminantes emergentes (ECs) da matriz de efluentes (DHANGAR & KUMAR, 2020). Os métodos convencionais de tratamento frequentemente não são efetivos para compostos orgânicos sintéticos que se encontram dissolvidos em baixas concentrações (AQUINO, 2015).

Conforme afirma Crini & Lichtfouse (2019), durante as últimas três décadas, várias tecnologias físicas, químicas e biológicas foram relatadas, como flotação, precipitação, oxidação, extração por solvente, evaporação, adsorção de carbono, troca iônica, filtração por membrana, eletroquímica, biodegradação e fitorremediação. Todas essas técnicas, devido a necessidade imediata para promoção de um desenvolvimento sustentável, vem sendo estudadas.

Quando a água de um corpo hídrico está poluída e a descontaminação se torna necessária, a melhor abordagem de purificação deve ser escolhida para atingir os objetivos de descontaminação. Segundo Crini & Lichtfouse (2019), um processo de purificação geralmente consiste em cinco etapas sucessivas: (1) tratamento preliminar ou pré-tratamento (físico e mecânico); (2) tratamento primário (físico-químico e químico); (3) tratamento secundário ou purificação (química e biológica); (4) tratamento terciário ou final (físico e químico); e (5) tratamento do lodo formado (derramamento supervisionado, reciclagem ou incineração).

Diferentemente dos esgotos sanitários ou domésticos, os esgotos ou efluentes industriais necessitam de um grau de tratabilidade diferenciado que deve considerar o tipo de rejeito gerado no processo industrial. Na maioria dos casos, estes efluentes devem passar por algum tratamento químico. Isto faz estações de tratamento de águas residuais convencionais incapazes

de lidar com eles. Assim, os métodos biológicos, eficazes de tratamento de águas residuais, não são uma solução viável (KHATRI *et al.*, 2018).

Todos os tipos de águas residuais devem ser tratadas antes de serem despejadas em corpos d'água, a fim de minimizar a propagação da poluição da água. A toxicidade das águas residuais derivadas de atividades industriais depende de sua composição, que por sua vez depende de sua origem industrial. Em geral, os problemas encontrados durante o tratamento de efluentes são muito complexos, pois o efluente contém poluentes de vários tipos, dependendo de sua origem. Assim, existem diferentes tipos de efluentes a tratar, cada um com características próprias que requerem um processo de tratamento específico (CRINI & LICHTFOUSE, 2019).

O efluente industrial liberado através do processo contínuo de tingimento das indústrias têxteis necessita de uma metodologia que custa tempo e energia efetiva (KIRAN *et al.*, 2017). A água residuária têxtil é elevada em cor, baixa nas taxas de DBO e DQO e elevada em sais. A situação é piorada pelo fato que a maioria dos efluentes têxteis (particularmente aqueles advindos das indústrias de algodão, seda e lã) contém corantes reativos, que são difíceis de serem degradados. Essa característica significa que diferentes estratégias tem que ser usadas para remover esses poluentes eficientemente (MIRZA, 2020).

Em geral, o tratamento convencional de efluentes consiste em uma combinação de processos físicos, químicos e/ou biológicos e operações para remover sólidos incluindo colóides, matéria orgânica, nutrientes, contaminantes solúveis (metais, orgânicos, etc.) de efluentes (CRINI & LICHTFOUSE, 2019). Diversos parâmetros são monitorados ao tratar efluentes industriais. Os parâmetros DQO e DBO têm sido os mais avaliados, sendo indicadores da concentração de matéria orgânica total e biodegradável, respectivamente (RAMOS *et al.*, 2020).

Atualmente, segundo Mirza *et al.* (2020), pode-se subdividir as técnicas mais comumente utilizadas para o tratamento de efluentes industriais em três métodos. Os métodos físicos, que abrangem a coagulação, floculação, filtração com membrana de separação e adsorção. Os métodos biológicos, classificados em aeróbicos, anaeróbicos e anóxico. O último método consiste nos métodos oxidativos, que podem ser executados por processos químicos, fotoquímicos, ultrassônicos ou processo de radiação de feixe de elétrons.

Devido à complexidade e variabilidade dos efluentes têxteis, sistemas sofisticados de recuperação de água têm que ser implementados (THE EUROPEAN COMMISSION, 2003). Práticas como segregação de efluentes em córregos, processos de membrana, processos biológicos, coagulação/floculação e POAs em diferentes configurações têm sido propostas, a fim de possibilitar o reaproveitamento de efluentes têxteis (PAŹDZIOR; BILIŃSKA; LEDAKOWICZ, 2019).

Devido à complexidade dos efluentes produzidos no processo de fabricação, não há um sistema geral de tratamento para efluentes com alta coloração. Em razão da composição complexa, que pode causar danos ao meio ambiente e ao homem, o tratamento de efluentes têxteis antes do descarte é essencial para cumprir a legislação ambiental. No Brasil, o tratamento deve ser realizado de acordo com as legislações estabelecidas pelos órgãos ambientais federais e/ ou estaduais para lançamento em corpos d'água (RAMOS *et al.*, 2021). A agência CPRH é uma das entidades autárquicas especiais, dotada de personalidade jurídica de direito público, com autonomia administrativa, financeira e patrimonial, vinculada à Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade, que visa controlar os parâmetros da legislação Ambiental em Pernambuco.

A maioria das ETEs no Brasil faz uso de peneiramento, seguido de coagulação-floculação como a escolha preferencial para o tratamento de efluentes têxteis em pequenas indústrias, enquanto os processos biológicos aeróbicos, precedidos ou não de tratamento físico-químico, são a principal escolha de grandes indústrias (RAMOS *et al.*, 2020, 2021). Por isso, muitos estudos têm-se concentrado em aumentar a eficiência, tornando as técnicas de tratamento de efluentes mais sustentáveis e ecologicamente corretas.

Segundo Holkar *et al.* (2016), os métodos oxidativos são os métodos de degradação de corantes mais utilizados por meios químicos devido à facilidade de aplicação. As tecnologias de oxidação podem ser categorizadas como processos de oxidação avançadas (POAs) e oxidação química. Esses processos têm a capacidade de degradar o inicial tóxico e seus subprodutos químicos, corantes, pesticidas, etc. parcial ou totalmente sob temperatura ambiente condições. Essas tecnologias de oxidação podem ser usadas individualmente bem como em sinergismo entre si. Este sinergismo pode ser denominado como as tecnologias híbridas.

## **2.6 Processos Oxidativos Avançados (POAs)**

Uma solução elencada para a problemática do lançamento de efluentes têxteis contaminantes nos corpos hídricos são os POAs. São processos limpos que podem degradar inúmeros compostos. A geração de espécies oxidativas com maiores rendimentos é obtida por processos avançados de oxidação como uma tecnologia de tratamento ecologicamente poderosa. Esses processos são considerados uma alternativa eficaz do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. A maioria dos POA's são processados a temperatura ambiente e utilizam energia para produzir intermediários altamente reativos de elevado potencial de oxidação ou redução, que então atacam e destroem os compostos-alvo (AQUINO, 2015).

De acordo com Azimi, Shirine & Pandashteh (2021), os POAs são uma classe de técnicas de tratamento químico para eliminar compostos orgânicos em água e águas residuais. Esses métodos foram sugeridos pela primeira vez em 1987 para a purificação da água pela geração de radicais hidroxila. Hoje, esses processos incluem técnicas como ozonização degradação fotocatalítica, reagente de Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ), foto-Fenton e Electro-Fenton, oxidação de ar úmido e processos de UV/cloro que são eficazes para a degradação de poluentes orgânicos em temperatura ambiente e pressões variadas.

O uso de processos ambientalmente aceitáveis é necessário na indústria química. Este conceito é amplamente demonstrado no que concerne aos âmbitos da química verde, química limpa, química ambiental ou tecnologia sustentável. Nesse contexto global, estudos têm-se concentrado em aumentar a eficiência das tecnologias já existentes, tornando os métodos mais sustentáveis, demonstrando os POAs como uma alternativa promissora. Os corantes sintéticos presentes nos efluentes têxteis não podem ser destruídos nos tratamentos de águas residuárias convencionais e conseqüentemente, surge urgentemente um desafio, que é o desenvolvimento de novas tecnologias ecologicamente corretas (ALMEIDA; DILARRI; CORSO, 2016).

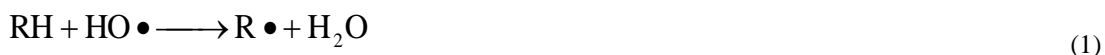
Avanços recentes no campo de tratamento físico-químico de águas residuárias têm levado à consolidação das técnicas fotoquímicas na degradação oxidativa de compostos orgânicos dissolvidos e dispersos como também refratário no meio aquoso, esses, geralmente, são referidos como processos oxidativos avançados (DIAS *et al.*, 2018). Os POAs baseiam-se na atuação de radicais com alto poder oxidante, geralmente a hidroxila ( $\text{HO}\bullet$ ), com o intuito de degradar poluentes orgânicos, gerando produtos mais simples ou não poluentes, como água, sais inorgânicos ou dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (BRITO *et al.*, 2019).

Os POA são caracterizados pela atividade de agentes oxidantes, geralmente radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), nas quebras da estrutura molecular do poluente. Esses agentes podem ser gerados a partir de ozônio ( $\text{O}_3$ ), percarbonato ( $\text{Na}_2\text{H}_3\text{CO}_6$ ), persulfato ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ), entre outros. Devido ao seu alto potencial redox ( $E_h = 2,8 \text{ V}$ ) e característica não seletiva, o  $\bullet\text{OH}$  pode atacar e degradar/mineralizar compostos recalcitrantes, como corantes e outros compostos que não podem ser oxidados por agente oxidante convencional (SILVA *et al.*, 2021).

Os POAs são um conjunto de tecnologias promissoras para o tratamento de contaminantes persistentes e tóxicos. No entanto, alguns pesquisadores têm sido cautelosos em relação às soluções/efluentes submetidos ao POA, pois a formação de intermediários pode ser mais tóxica do que a amostra inicial (SANTANA *et al.*, 2019). A aplicação destas tecnologias ainda demanda de mais estudos, uma vez que, desenvolver e aperfeiçoar reatores em escala industrial ainda representa um grande problema.

As técnicas convencionais de tratamento de efluentes, por exemplo, os processos físico-químicos, não podem causar degradação de alguns corantes e poluentes orgânicos recalcitrantes. Por esse motivo, novas tecnologias, como os POAs, têm sido estudadas. Os POAs são caracterizados pela degradação de espécies orgânicas através do radical hidroxila e podem transformar parcial ou totalmente contaminantes em outras espécies, como dióxido de carbono, água, ânions inorgânicos ou substâncias menos tóxicas (ALMEIDA *et al.*, 2021).

O mecanismo de abstração de hidrogênio é o mais comum quando se explica a interação entre o radical hidroxila e a matéria orgânica. As Equações 1 e 2 demonstram melhor essas reações, onde, num meio aerado, há formação de radicais orgânicos, que podem formar substâncias mais simples após consecutivas etapas de reação, por meio de reações em cadeia (AZEVEDO, OLIVEIRA & CAVALCANTI, 2020). No entanto, devido à alta reatividade e baixa seletividade desse radical, deve-se atentar à formação de poluentes orgânicos persistentes (ARAÚJO *et al.*, 2016).



Segundo Oliveira *et al.* (2019), pode-se salientar que os POAs possuem algumas implicações que devem ser analisadas de acordo com o efluente a ser tratado e o método utilizado. Os POAs produzem alterações químicas na estrutura dos corantes, podendo inclusive levar à sua completa mineralização. Eles podem ser utilizados no tratamento de contaminantes cuja concentração seja muito baixa, e apresentam restrições de aplicação em condições de elevada concentração dos poluentes.

Na maioria dos casos, os POAs não geram resíduos, com exceção de alguns processos que podem envolver precipitação (por exemplo, óxidos férricos). Assim como qualquer outro tratamento, a oxidação avançada não pode ser utilizada a qualquer tipo de resíduo. Os gastos para a mineralização podem ser altos, principalmente, devido ao custo de energia. É passível a ocorrência da produção de reação indesejados, alguns podem ser até mais tóxicos que o resíduo (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Os POAs são aplicados ao tratamento de águas residuais e efluentes industriais para promover a remoção de compostos aromáticos e farmacêuticos, corantes, pesticidas e outros poluentes tais como, agentes patogênicos, metais pesados, ácidos carboxílicos. Em aplicações a nível industrial, os POAs têm demonstrado serem tecnologias viáveis no tratamento de uma variedade de efluentes industriais (ARAÚJO *et al.*, 2014). Bandala *et al.* (2008) pesquisaram a

aplicação do processo foto-Fenton de águas residuais reais coloridas, revelando uma redução de 62,6 % na concentração de DQO. A principal restrição à aplicação industrial dos POAs baseia-se no alto custo das fontes de energia como, radiação ultravioleta (UV) e reagente (peróxido de hidrogênio e ozônio).

Os processos Fenton e foto-Fenton apresentam grande eficiência na oxidação de uma ampla variedade de compostos orgânicos, tanto em meio aquoso como em solos. A simplicidade de aplicação dos processos e sua alta eficiência de degradação, principalmente quando sob irradiação, são seus principais atrativos. Suas limitações referem-se principalmente à estreita faixa de pH em que a eficiência de degradação é máxima (2,5-3,0), que tem sido contornada pela utilização de complexos de ferro que, além de estabilizar o ferro em uma faixa mais ampla de pH, aumentam a eficiência de degradação (NOGUEIRA *et al.*, 2007).

A reação de Fenton clássica (Equação 3) e a reação tipo Fenton (Equação 4) se baseiam na degradação catalítica de  $\text{H}_2\text{O}_2$  por íons Fe com a geração de radicais hidroxila ( $\text{HO}^\bullet$ ) e hidroperoxila ( $\text{HO}_2^\bullet$ ), respectivamente. O primeiro é um oxidante mais forte que degrada vários compostos orgânicos indesejáveis, convertendo-os em moléculas mais simples como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e íons inorgânicos. Além do radical  $\text{HO}_2^\bullet$  ser mais fraco, a velocidade da reação tipo Fenton é mais lenta, o que pode causar um acúmulo de  $\text{Fe}^{3+}$  a partir da primeira reação (AGUIAR *et al.*, 2007; NIDHEESH *et al.*, 2013).



No Fenton homogêneo, o uso do agente oxidante, peróxido de hidrogênio, se reveste de diversas vantagens em relação aos outros métodos químicos ou fotoquímicos de tratamento de efluentes. Podem ser citados: baixo custo, estabilidade térmica, elevada solubilidade em água, inexistência de problemas decorrentes da transferência de massa, maior rendimento, facilidade de armazenagem, procedimentos operacionais simples, baixa probabilidade de dano no manuseio e investimento reduzido de capital e redução ou eliminação da toxicidade em função da mineralização dos poluentes (QUEIROZ *et al.*, 2011).

Nesses métodos, a espécie radioativa deve atuar como oxidante enquanto estiver sendo acompanhada pela luz, por um catalisador, ou uma fonte ultrassônica e/ou térmica. É possível classificar os tipos de POAs em homogêneos e heterogêneos, e com irradiação e sem irradiação. A Tabela 1 é um quadro ilustrativo, elaborado por Fioreze, Santos & Schmachtenberg (2014), que menciona os processos de POAs com irradiação e sem irradiação.

**Tabela 1** - Representação de Sistemas Típicos de Processos Oxidativos Avançados

PROCESSO	HOMOGÊNEO	HETEROGÊNEO
Com irradiação	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	Fotocatálise Heterogênea (TiO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> /UV)
Sem Irradiação	O <sub>3</sub> /HO <sup>-</sup> O <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Reativo de Fenton	O <sub>3</sub> /Catalisador

Fonte: AUTORA (2023) adaptado de FIOREZE, SANTOS & SCHMACHTENBERG (2014)

Há vários métodos para obtenção de radicais OH<sup>-</sup>. Os métodos de ativação, assim como a geração de oxidantes nos POA's, podem ocorrer de muitas formas e degradar matéria orgânica com mecanismos diferentes (MIKLOS *et al.*, 2018). Alguns exemplos de classificação desses mecanismos estão demonstrados na Tabela 2 a seguir, que representa a tabela esquemática de POAs adaptado elaborada a partir do quadro esquemático elaborado por Miklos *et al.*, em 2018. Essa tabela elucida as principais classificações dos POAs mais comumente estudados.

**Tabela 2** - Classificação de diferentes POAs

Baseados em Ozônio (O <sub>3</sub> )	O <sub>3</sub> (Ozonização em pH elevado)
	O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (Processo de Peroxona)
	O <sub>3</sub> /Catalisadores
Baseados em Fenton	Fenton
	Foto-Fenton
	Sono-Fenton
	Eletro-Fenton
POAs Fotocatalíticos	TiO <sub>2</sub> /UV
	TiO <sub>2</sub> /VIS
	Outros semicondutores/UV
POAs Eletroquímicos	Oxidação Eletroquímica
	Eletrocoagulação
POAs Físicos	Ultrassom
	Radiação de Feixe de Elétrons
	Radiação Gama

Fonte: AUTORA (2022) adaptado de Miklos *et al.* (2018)

É importante ressaltar que, assim como qualquer outro tipo de tratamento, a oxidação avançada não pode ser aplicada indiscriminadamente a qualquer classe de resíduo (MORAIS, 2022). Dentre as condições que limitam a aplicabilidade desses processos se destacam que nem



todos os processos estão disponíveis em escala adequada; os custos podem ser elevados, principalmente devido ao consumo de energia. Também pode haver a formação de subprodutos de reação, os quais em alguns casos são tóxicos e podem apresentar restrições de aplicação.

Mesmo com toda essa eficiência, uma combinação de processos convencionais de tratamentos biológicos e de POAs pode ser uma alternativa economicamente mais viável para a degradação de um efluente com presença de compostos tóxicos mais significativos. Segundo DIAS *et al.* (2018), a grande vantagem dos POA é que, durante o tratamento os poluentes são destruídos e não apenas transferidos de uma fase para outra como ocorre em alguns tratamentos convencionais. Esse fator destaca o potencial dos POAs como uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes, e tem atraído o interesse para o tratamento de compostos biodegradáveis e/ou tóxicos. dimensões.

---

### 3 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 para o tema. Segundo Pereira *et al.* (2019), a aplicação dessa técnica permite sintetizar sistematicamente os resultados empíricos existentes. Cientistas da informação e sociólogos, dentre outros, vêm utilizado a bibliometria como uma das formas de analisar e discutir a produção científica. Assim, a metanálise fornece as direções e permite que os pesquisadores avaliem a heterogeneidade dos estudos primários. Logo, integra vários estudos primários, com maior poder estatístico e, ao mesmo tempo, evitando a influência e potenciais inadequações estatísticas de estudos isolados.

Para atingir o primeiro objetivo específico da pesquisa, visando a caracterização do APLCAPE, foram utilizadas as informações disponíveis no banco de dados de pesquisas, além de informações expressivas obtidas a partir de artigos científicos, teses e dissertações. A análise desse acervo de materiais científicos propiciou o referencial teórico a respeito do APLCAPE. Além disso, ajudou no entendimento do APLCAPE e dos processos produtivos associados.

A segunda etapa do estudo consistiu em realizar uma revisão sistemática a respeito dos POAs. Essa revisão foi realizada com as bases de dados recentes, com a literatura presente na área de estudo. Para alcançar esse objetivo foram analisados artigos indexados na plataforma da *Scopus* e da *Web of Sciece*, 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 devido a lacuna de informações á respeito dos POAs no período atual. Já existem informações complementares em períodos anteriores que complementam a pesquisa.

A *string* utilizada na plataforma de bases da *Web of Science* foi: **Textile Effluents, Textile Industry and Advanced Oxidative Processes**. O ANEXO A ilustra o campo de busca da plataforma, com o procedimento de pesquisa utilizado. 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))**. O ANEXO B ilustra o procedimento de pesquisa utilizado nessa plataforma. 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”. PRISMA - consiste, entre outras coisas, 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 de 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.

Como o tema da pesquisa não possui um leque extenso de exclusão, os artigos obtidos com a aplicação dos filtros mencionados foram suficientes para a composição da base de dados. Assim, 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, demonstrados na seção de Resultados e Discussões e nos ANEXOS, foi elaborada por meio da base de dados obtida e delimitada entre os anos de 2018 até 2022. 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.

Para a análise de tratamento de efluentes das lavanderias industriais e da viabilidade de emprego dos POAs nas lavanderias do APLCAPE foram analisados artigos e pesquisas na literatura científica, relacionados à eficiência desses processos na degradação de poluentes e a conjuntura do APLAPE. Por meio disso, é possível compreender, comparar e inferir os embasamentos teóricos e a aplicação industrial dos referidos processos, vislumbrando-se uma utilização desses procedimentos nas lavanderias.

No Apêndice A está presente a tabela resumo resultante da metanálise executado. Nessa tabela esta discriminada a autoria, o ano de publicação e a descrição dos 11 artigos científicos da revisão bibliográfica da base de dados da *Web of Science*. No Apêndice B está presente a tabela resumo resultante da análise dos 20 artigos científicos da base de dados da *Scopus*. Essa tabela possui as informações relativas a autoria, ano de publicação, e a descrição dos artigos da revisão bibliográfica da base de dados.

---

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do APLCAPE e dos POAs Através da Literatura de Pesquisa

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 *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 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  $O_3/UV$ ,  $H_2O_2/UV$ ,  $O_3/H_2O_2/UV$ , foto-Fenton, fotocátalise heterogênea); Sonoquímicos (incluindo US,  $O_3/US$ ,  $H_2O_2/US$ , fotocátalise/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, Oliveira & Cavalcanti (2020), a otimização técnica-econômica desse catalisador em ambos POAs homogêneos e heterogêneos, é a direção chave para futuros estudos e pesquisas. A diferença muitas vezes é notória.

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. Esta radiação de alta energia é necessária para conseguir realizar a quebra homolítica do oxidante (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 ( $\text{TiO}_2$ ) 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:  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  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.

Dentre POAs homogêneos, a Ozonização é o método mais popular e envolve as espécies  $\text{O}_3$  e  $\bullet\text{OH}$ . Nas águas residuárias, sobre condições de pH básico, o  $\text{O}_3$  se quebra nos radicais  $\bullet\text{O}_2^-$  e  $\bullet\text{HO}_2$ , que posteriormente forma dois  $\bullet\text{OH}$  que reagem com refração química para decompor eles. POAs homogêneos também empregam várias combinações de diferentes processos, como  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{UV}/\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{US}$ . O mais comum desses processos envolve o uso de radiação UV com a fotoprodução de  $\text{Fe}^{3+}$  enquanto gera um novo radical  $\bullet\text{OH}$  do  $\text{H}_2\text{O}_2$  (MIRZA, 2020).

Nos POAS heterogêneos, geralmente, a fotocatalise é usada na presença de radiação ultravioleta (UV) para degradar poluentes e cores presentes na indústria têxtil. A catálise atua como um material semicondutor com uma certa faixa de atuação. Quando a energia da irradiação da fonte UV excede a faixa da fotocatalise, buracos e elétrons são gerados. Várias fotocatalises que incluem  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  e  $\text{ZnS}$  estão sendo utilizadas nos POAs heterogêneos. Além disso,  $\text{ZnO}$  e  $\text{TiO}_2$  são os mais amplamente utilizados na fotocatalise (MIRZA *et al.*, 2020).

Os POAs que são de notáveis destaque são os químicos, fotoquímicos, eletroquímicos e até mesmo as combinações entre esses. O POA químico de maior interesse é o processo Fenton, que baseia-se na formação de radicais hidroxila via interação entre íons ferrosos,  $\text{Fe}^{2+}$ , e agentes

oxidantes fortes, como peróxido de hidrogênio, em meio aquoso, conforme apresentado na Equação 5 (BRITO *et al.*, 2019). Nota-se que, além do radical hidroxila, há também a formação dos íons férricos e hidroxila. A interação entre os íons férricos e o peróxido de hidrogênio geram radicais hidroperoxila ( $\text{HO}_2\bullet$ ), que é menos reativo que o  $\text{HO}\bullet$ , sendo que os potenciais padrão de redução da  $\text{HO}\bullet$  e da  $\text{HO}_2\bullet$ , 2,80 V e 1,42 V, respectivamente (AZEVEDO, OLIVEIRA & CAVALCANTI, 2020).



Os trabalhos de Araújo *et al.* (2014) descrevem em seus estudos algumas das principais vantagens da aplicação dos POAes para desintoxicação /descontaminação de água:

- Produção *in situ* de  $\text{H}_2\text{O}_2$  evitando os riscos com manuseio, armazenamento, transporte.
- Regeneração contínua de  $\text{Fe}^{2+}$ , promovendo maior taxa de remoção de poluentes orgânicos.
- Possibilidade de mineralização total com custo relativamente baixo, otimizando os parâmetros de operação.
- Permite rápida degradação dos poluentes orgânicos, evitando a formação de espécies tóxicas.
- Não possui necessidade de adição de reagentes químicos ou de grandes quantidades de catalisador no suporte, permitindo a descarga direta dos efluentes tratados em águas naturais.

Tais pontos positivos evidenciam quesitos como compatibilidade ambiental, segurança e eficiência desses processos no tratamento de águas residuais e efluentes industriais, além de comprovarem a viabilidade e sustentabilidade do processo de tratamento.

Como resultado da pesquisa pode-se citar alguns artigos estudados, não necessariamente vinculados aos 31 artigos obtidos das duas bases de dados, que estão relacionados diretamente 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 viabilidade de aplicação do 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. Constatou-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 derivação dos radicais livres.

Mesmo assim é possível observar que os POAs fotoquímicos demonstraram ser tecnologias mais eficazes, simples e baratas que os POAs químicos. A fotocatalise é uma técnica promissora para a remediação e limpeza do meio ambiente e a pesquisa nessa área têm sido extensivamente estudadas ultimamente. Esse processo ocorre quando um semiconductor do tipo calcogênico (óxidos como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$  ou  $\text{CeO}_2$ , ou sulfetos como  $\text{CdS}$  ou  $\text{ZnS}$ ) é iluminado com fótons, proveniente de luz solar ou de fonte artificial, promovendo a excitação de elétrons da banda de valência (BV), formando uma lacuna ( $h^+$ ), para a banda de condução (BC), contendo elétrons ( $e^-$ ) (DIAS *et al.*, 2018).

Para a utilização de alta eficiência do catalisador em suspensão é necessário que as partículas de  $\text{TiO}_2$  sejam pequenas para oferecer uma alta área superficial. Segundo os estudos de Dias *et al.* (2018), intitulado Tratamento de Efluente Têxtil Através de Processos Oxidativo Avançado ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$ ), o estudo utilizando a técnica heterogênea do POA, o processo se mostrou bastante eficaz para a degradação do corante utilizado, obtendo faixas de degradação próximas a 90%. A desvantagem se torna o alto custo que pode ser mitigado com aprimoramento.

Dias *et al.* (2018) realizou estudos de comparações. Os autores prosseguiram comparando a porcentagem de degradação dos corantes utilizando as tecnologias  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  separadamente, foram encontrados resultados ligeiramente inferiores. O trabalho dos referidos autores constatou a eficiência fotônica aparente e encontrou valores mais elevados para o processo  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ , indicando uma maior concentração de radicais hidroxila.

Como alternativa sugerem os processos de ozonização ou a utilização de outros reagentes mais economicamente acessíveis para as lavanderias locais. Pode-se ressaltar também que os POAs eletroquímicos (POAEs) mostraram serem vantajosos devido a capacidade de minimizar e até mesmo de eliminar o uso de reagentes.

## 5.2 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 análise sistemática. Para a seleção dos artigos impactantes, foram selecionados os 11 artigos de relevância obtidos entre os anos de 2018 e 2022. Com a análise dos Resumos, Abstracts, Introdução e do escopo do conteúdo, foi possível notabilizar que dentre esses 11 artigos, 5 deles fazem menção aos processos oxidativos relacionados ao processo Fenton, o que evidencia o estudo 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. Com relação ao número de artigos científicos, o trabalho do autor revelou um crescimento mais expressivo quando comparado ao número de patentes. A publicação de patentes sobre o tema apresenta um crescimento constante até 2014, quando houve uma queda e elevou-se novamente em 2015.

Isso demonstra o interesse nos POAs como uma possibilidade de aplicação. Com isso, é possível observar o crescimento cada vez maior e vertiginoso 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.

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 E 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. O baixo interesse em relação ao estudo dos processos sonoquímicos é especialmente ligada a algumas dificuldades do processo como a gradual redução do ultrassom ao longo do percurso, apenas a região próxima a sonda possui elevada intensidade e outros fatores que foram analisados pelos estudos de Goodwin (1990) (CHAGAS, 2022).

Ricardo Gonçalves (2015), 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, diferentemente das técnicas físicas/mecânicas, que apenas transferem os contaminantes de um meio para outro, mantendo-os na mesma forma física, química e toxicológica, assim como foram gerados e dispostos antes de o tratamento ser executado.

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 interface do *VOSviewer* é bastante interativa e ampla, fornecendo diversas opções de análise. Os ANEXOS N a Z são basicamente os resultados obtidos da pesquisa, com os procedimentos de execução na interface do *software* e as redes de estudo.

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. A colaboração científica vem constituindo situações que favorecem o aumento da produção de conhecimento por meio de trabalho conjunto dos pesquisadores, uma vez que estabelece relações entre autores, instituições e países.

Através dessa análise foi possível comprovar, como elucidado no ANEXO M, 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 *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*. A análise de citação também comprovou a importância desses autores.

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. Isso é provado nos dados de análise do ANEXO Q, com o fato do Brasil possuir 9 documentos e 77 citações na base de dados analisada. O ANEXO R é o mapa de visualização da densidade das publicações, ele reforça que o Brasil está em evidência nas publicações sobre o tema abordado. 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).

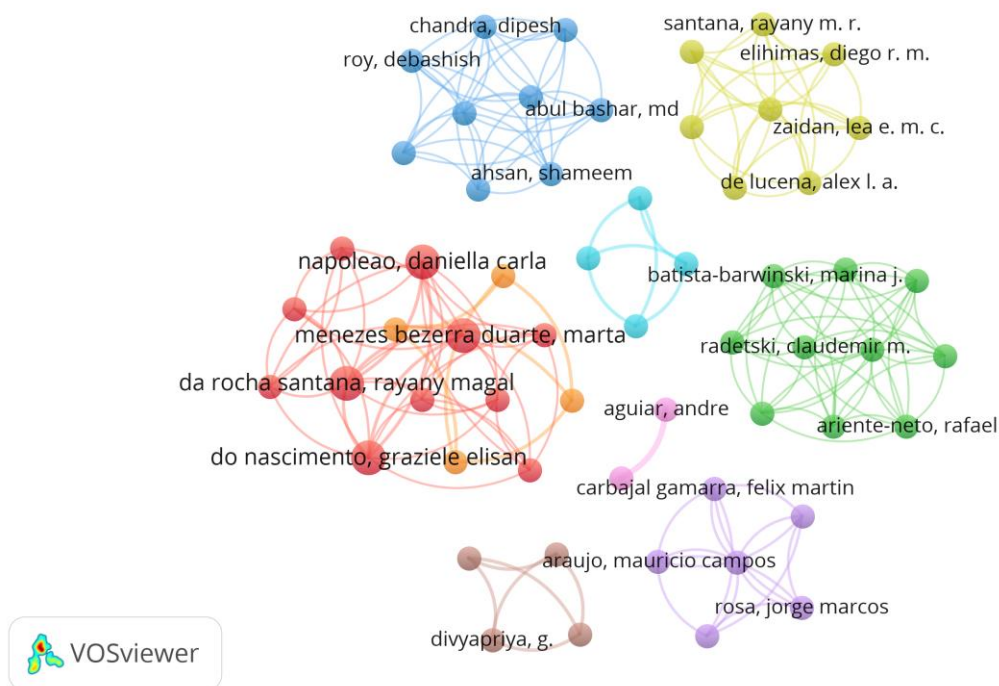
Essa evidência de publicações sobre o tema provavelmente está relacionada com a necessidade de se compreender e estudar melhor os POAs para implementar a prática nos diversos setores do país. Mesmo com esse esforço, é nítido que os artigos publicados referentes a base de dados brasileira é deficitário em termos estatísticos, sendo mais antigos, predominado artigos do ano de 2020. Enquanto outros países, como os Estados Unidos da América, Bangladesh, Suíça, Índia e Marrocos já publicam artigos mais recentes, como é ilustrado no ANEXO P que ilustra que esses países possuem artigos mais recentes, datados entre os anos de 2020 e 2022. Essa produção recente pode ter relação com a pandemia do Coronavírus 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 no 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*.

**Figura 4** - Mapa de Redes de Análise de Coautoria com os dados da *Web of Science*



Fonte: *VOSviewer* (2023)

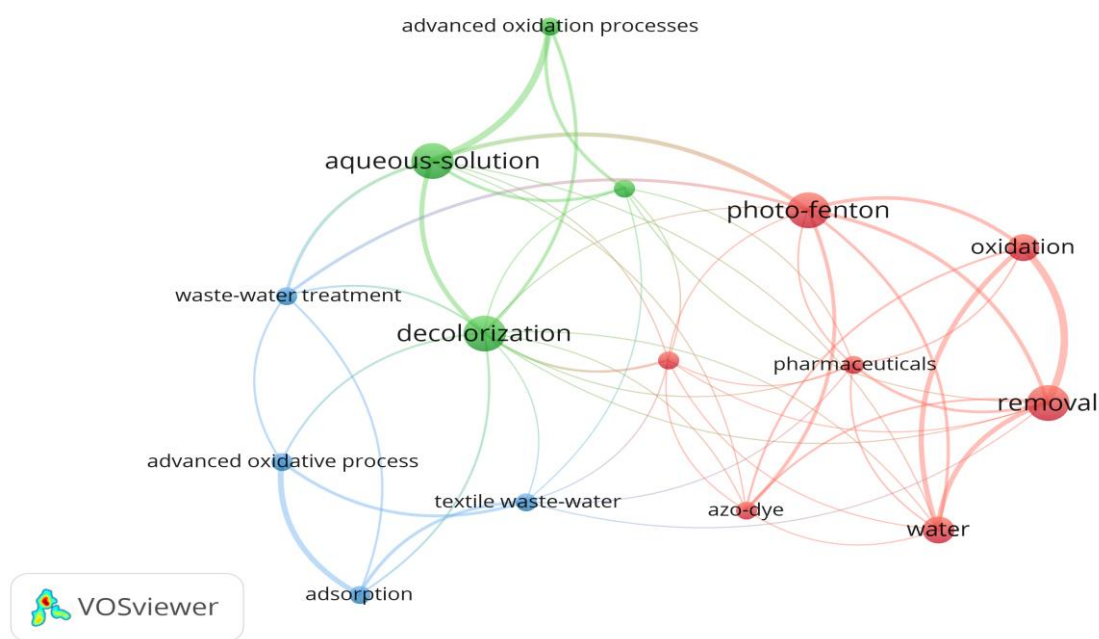
A próxima análise que foi executada foi a análise de co-ocorrência, considerando-se todas as palavras chaves da linha de pesquisa. Na estrutura de um artigo científico, as palavras aparecem no título, nos resumos, no texto principal e nas palavras-chave constituindo-se, portanto, como itens representativos 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” (HITTAKER, 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. 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, ilustrado no Apêndice C, 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 dessa 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 chaves do escopo do texto mais citadas são referentes ao processos de remoção de efluentes e aos POAs. Como destaque para uma maior quantidade de citações, segundo o *VOSviewer*, estão em evidência as sentenças com as palavras photo-Fenton, decolorização e 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: *VOSviewer* (2023)

Em seguida, foi realizado 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). Apresentam, portanto, um olhar para o passado, pois são estudos realizados a partir das referências que baseiam-se em documentos citantes.

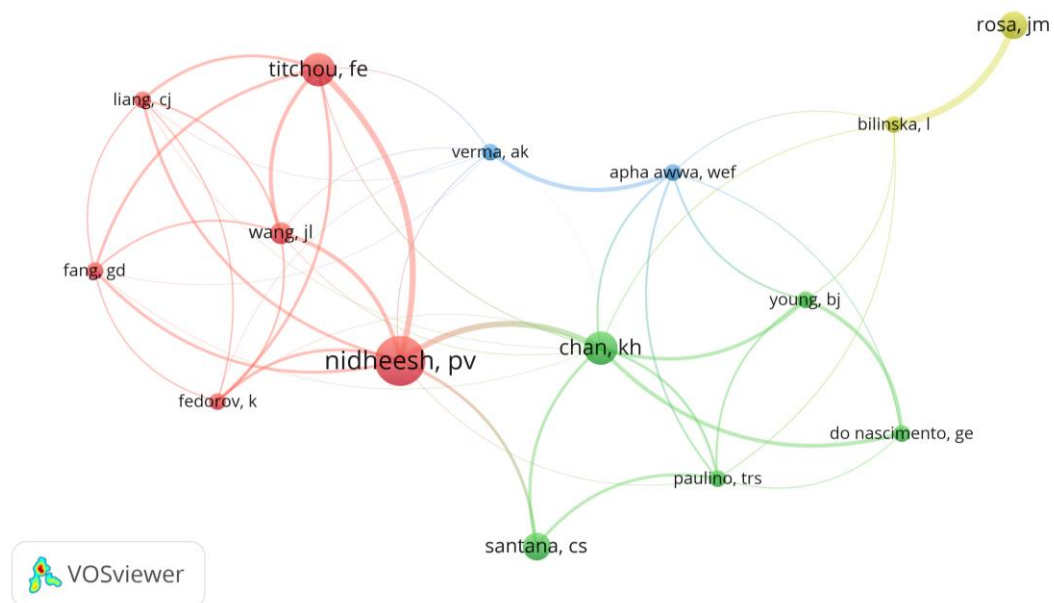
Desde a concepção, os estudos de cocitação de autores são usados não apenas para o mapeamento de disciplinas científicas, mas também para discussões metodológicas que criticam a técnica e propõem variações, novas formas de interpretar e agregar informações aos agrupamentos, desenvolver e avaliar as matrizes. Toda análise de cocitação de autores apresenta uma proposta para definir a seleção de autores.

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 uma 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). As análises de co-citação se concentram, portanto, em identificar, medir e interpretar um grupo de entidades cocitadas em um contexto específico.

Com os dados obtidos, ilustrados no ANEXO X, 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*

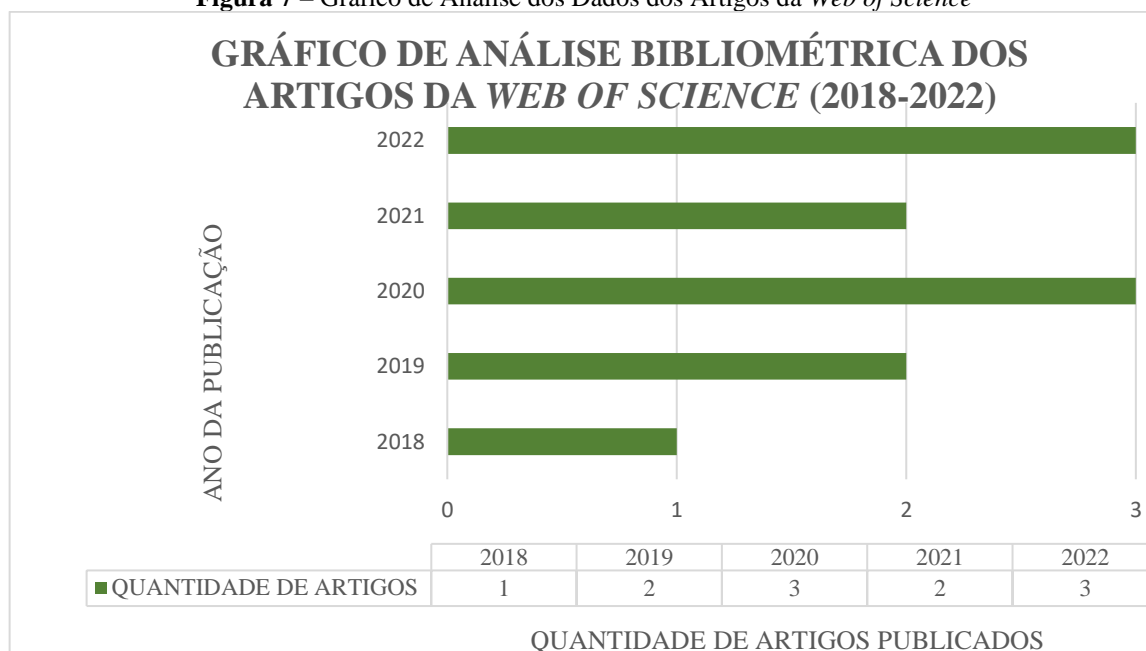


Fonte: *VOSviewer* (2023)

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. Pode-se analisar também a quantidade de artigos, relativos ao tema dos POAs, que foram publicados na base de dados. Realizado esse estudo no período limitado entre os anos de 2018 á 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. A Figura 7 a seguir elucida a análise

bibliométrica da quantidade de artigos e os respectivos anos da publicação.

**Figura 7** – Gráfico de Análise dos Dados dos Artigos da *Web of Science*



Fonte: Autora (2023)

### 5.3 Metanálise com a Base de Dados da *Scopus*

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 interface do *VOSviewer* é bastante interativa e ampla, fornecendo diversas opções de análise. Os ANEXOS de C a M são basicamente os resultados obtidos da pesquisa com os procedimentos de execução na interface do *software* e as redes de estudo.

Para execução da Metanálise dos dados da *Scopus*, foram aplicados os mesmos passos na mesma sequência cronológica. Com a utilização do *VOSviewer* e o arquivo CSV, obtido da plataforma *Scopus*, foi possível executar uma análise bibliométrica minuciosa. Foi inserido também o mesmo arquivo txt., chamado thesaurus, para a substituição de palavras de mesmo significado. Ao optar pelo método de contagem fracionário, a pontuação atribuída a representatividade de cada autor foi obtida de maneira igualitária e fracionária.

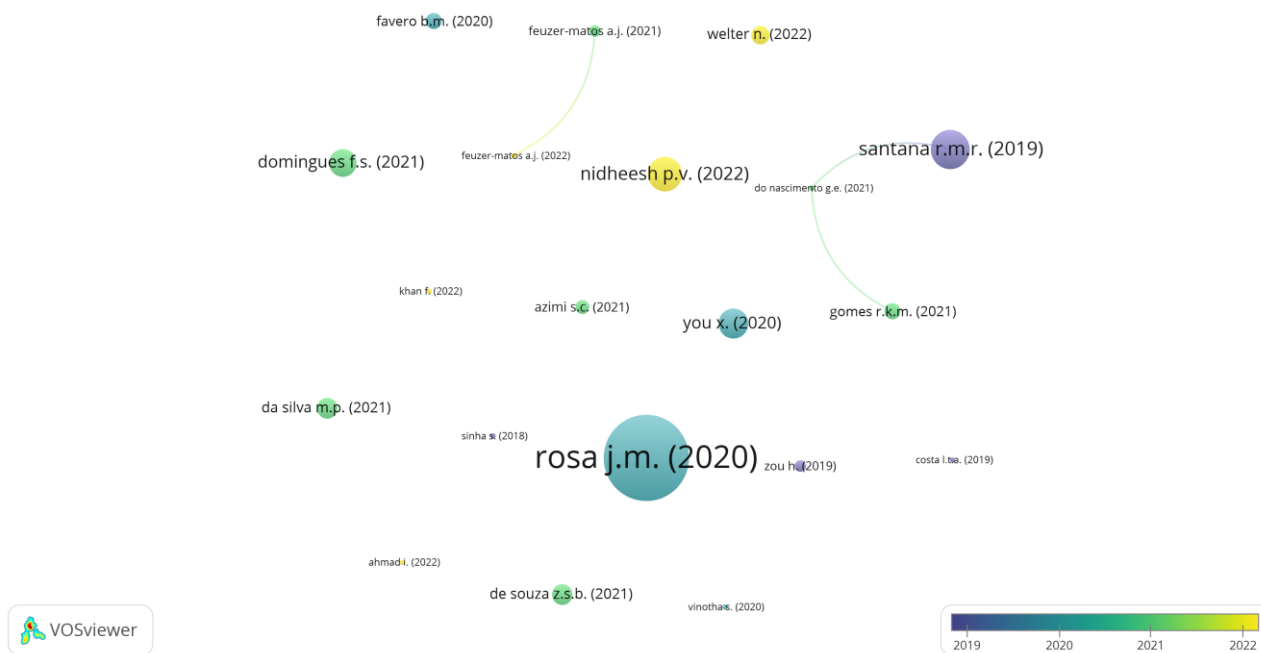
A primeira análise executada foi a análise de co-autoria. Nessa análise foi obtido que o trabalho mais citado foi o artigo *Application of continuous H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs and environmental impacts of textile effluents*, de Jorge Marcos Rosa *et al.*, mesmo resultado





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, citado 38 vezes na análise bibliométrica, foi Jorge Marcos Rosa, indicando que esse autor possui uma vasta gama de trabalhos publicados. A Figura 9 a seguir é o mapa de rede da análise de citação por documento obtido no *VOSviewer*.

**Figura 9 - Mapa de análise de citação do *VOSviewer***

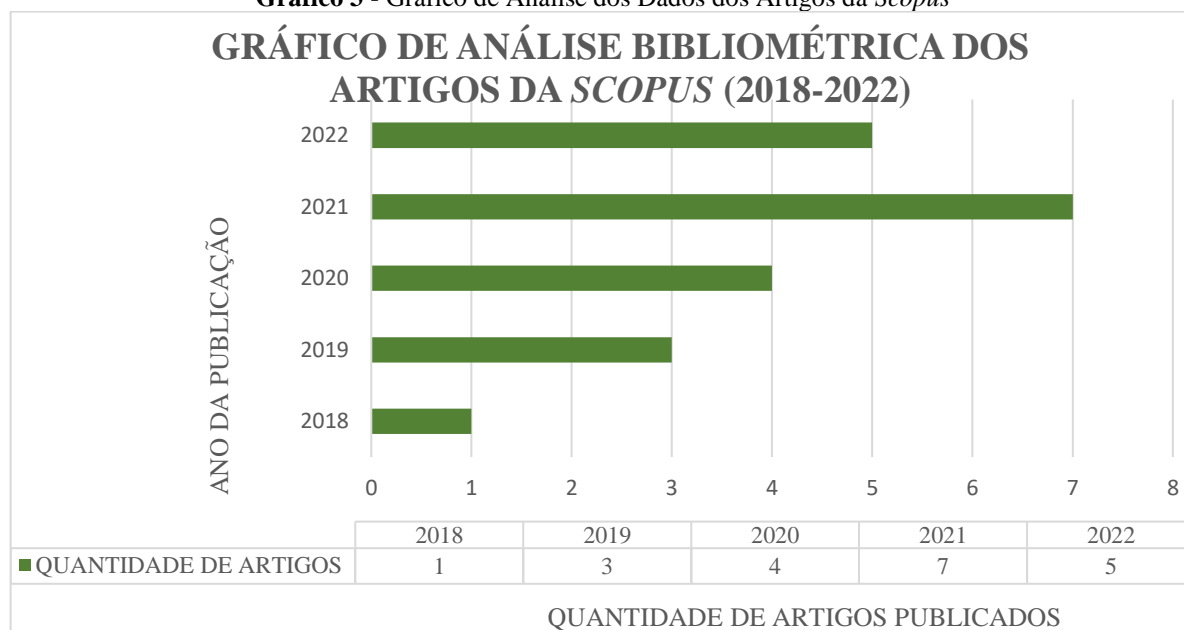


Fonte: *VOSviewer* (2023)

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. A Figura 10 a seguir é um gráfico da 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. Desde de 2020 há um crescente interesse sobre a aplicação dos POAs.



**Gráfico 3** - Gráfico de Análise dos Dados dos Artigos da *Scopus*

Fonte: Autora (2023)

## 6 CONCLUSÕES

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, consequentemente, o risco de escassez de água e de contaminação hídrica da população local.

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, consequentemente, o risco de escassez de água e de contaminação hídrica da população local. Nas últimas décadas, diferentes tipos de POAs (químicos, fotoquímicos, sonoquímicos, eletroquímicos), bem como a combinação desses processos, e suas vantagens e desvantagens, têm sido relatados em inúmeros estudos e em diversos países.

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 às limitações como alto custo das fontes de energia, desenvolvimento de novos materiais catalíticos de baixo custo e construção de reatores em escala real. Neste contexto de investigações e pesquisas, o estudo dos POAs como uma alternativa eficiente na degradação de poluentes presentes em efluentes e águas residuais, vem se ampliando e se modernizando para suprir as necessidades globais.

A análise bibliométrica convergiu para a eficácia da aplicação do processo oxidativo avançado (POA) baseado no  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  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.

Foi concluído 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,  $\text{HO}\bullet$ ), e principalmente as condições de execução das lavanderias têxteis.

Com base nos dados encontrados na literatura científica, conclui-se que os POAs tornam-se 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.

Através da comparação é possível concluir que os POAs fotoquímicos demonstraram ser tecnologias mais eficazes, simples e baratas que os POAs químicos. Quanto aos POAs sonoquímicos, apesar da combinação da irradiação ultrassom com reações Fenton resultarem em efeitos promissores na descontaminação de efluentes, torna-se necessário comprovar a viabilidade econômica da aplicação deste processo a nível industrial. Dentre os POAs pesquisados, os eletroquímicos (POAEs) mostraram ser os mais vantajosos devido à capacidade de minimizar ou eliminar o uso de reagente químico.

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.

---

## REFERÊNCIAS

- ABIT. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. **Perfil do Setor**. 2019. <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- ABIT. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. **Perfil do Setor**. 2023. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 05 mar. 2023.
- ABRAVEST. Associação Brasileira de Vestuário. **Pernambuco é o maior polo de jeans do Brasil. GBL Jeans**. 2020. Disponível em: <https://abравest.org.br/site/pe-e-o-maior-polo-de-jeans-do-brasil-gbl-jeans/>. Acesso em: 19 jan. 2023.
- AGUIAR, A; FERRAZ, A.; CONTRERAS, D.; RODRÍGUEZ, J. Mechanism and applications of the Fenton reaction assisted by iron-reducing phenolic compounds. *Química Nova*, v. 30, p. 623-628, 2007.
- ALKAYA, E.; DEMIRER, G. N. Sustainable textile production: a case study from a woven fabric manufacturing mill in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, v.65, n.1, p.595-603. 2014.
- ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. BOLETIM DAS ÁGUAS, Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), p. 1-18, 2016.

ALMEIDA, A. R.; PESSOA, C. A.; TIBURTIUS, E. R. L.; FUJIWARA, S. T. **Photo-Fenton Process Using Fe (III) Ions from Modified Sugarcane Bagasse for Reactive Black 5 Dye (RB5) Removal**. *Orbital The Eletronic Journal of Chemistry*, v. 13, p. 145-152, 2021.

ALVES, A. T. A.; BARROS, V. H. O.; ALEXANDRE, J. I. S.; ALCÂNTARA, L. R. P.; PATRIOTA, M. R. A.; COUTINHO, A. P. **Revisão sistemática de literatura: estudo de caso sobre a remoção de cor de águas residuais têxteis**. *Revista Geama*, v. 5, n. 3, p. 4-17, 2019.

AMBRÓSIO, N.; BERNARDI, J. L.; DALLAGO, R.; MIGNONI, M. L. **Remoção de metais pesados de efluentes utilizando líquidos iônicos: uma revisão**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 50189-50209, 2021.

AQUINO, V. **Processos Oxidativos Avançados Ganha Mercado e Pode Ser a Solução em Tratamentos Específicos**. *Revista TAE Especializada em Tratamento de Água & Efluentes*, Edição N°22, 2015.

ARAÚJO, K.S.; MALPASS, G. R. P.; URIAS, P. M.; CUNHA, P. C. R. **Processos Oxidativos Avançados: Fundamentos e Aplicações no Tratamento de Águas Residuais e Efluentes Industriais**. IN: ANAIS DO V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. 2014.

ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECCZA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P. **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, p. 387-401, 2016.

ARAÚJO, A. R. M.; FERREIRA, L. F.; FERREIRA, D. D. M. **Gestão dos recursos hídricos: estudo sobre práticas ambientais adotadas por uma indústria têxtil**. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 8, n. 2, p. 99-109, 2017.

ARAÚJO, W. C.; FONTANA, M. E. R. **Análise do Gerenciamento dos Resíduos de Tecidos Gerados pela Indústria de Confecções do Agreste de Pernambuco**. *Gest. Sust. Ambient.*, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 101 – 124, 2017.

ÀS MICRO, Serviço Brasileiro de Apoio; PEQUENAS EMPRESAS, SEBRAE. **Estudo Econômico das Indústrias de Confecções de Toritama/PE**. Recife: SEBRAE, 2019.

AZEVEDO, P. G. F.; OLIVEIRA, D. C. S.; CAVALCANTI, L. A. P. **Processos físicos e químicos para o tratamento de efluentes: uma revisão integrativa**. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*. [online], vol. 7, n. 17, p. 1667-1678, 2020.

AZIMI, S. C.; SHIRINI, F.; PENDASHTAH, A. R. **Advanced oxidation process as a green technology for dyes removal from wastewater: a review**. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, v. 40, n. 5, p. 1467-1489, 2021.

BANDALA, E. R.; PELÁEZ, M. A.; GARCÍA-LÓPEZ, A. J.; SALGADO, M. D.; MOELLER, G. **Photocatalytic decolourisation of synthetic and real textile wastewater containing benzidine-based azo dyes**. *Chemistry Engineering and Processing*, v. 47, p. 169-176, 2008.

BATISTA, I. R. **Processos Oxidativos Avançados (POAs): Uma revisão da importância de fotocatalise na descoloração de corantes têxteis como o verde malaquita**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Goiás, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2591/1/TCC%20-%20Isabela%20Reis.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2022.

BEHERA, M.; NAYAK, J.; BANERJEE, S.; CHAKRABORTTY, S.; TRIPATHY, S.K. **A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: an integrated system design approach**. J. Environ. Chem. 2021.

BENDER, A. F.; SOUZA, J. B.; VIDAL, C. M. S. **Tecnologias avançadas de tratamento visando à remoção de cor e fenol de efluente de indústria de celulose e papel**. Ciência Florestal, v. 29, p. 571-582, 2019.

BORGES, K. **Case e Diagnóstico: Polo de confecção têxtil do Agreste Pernambucano**. Empreender 360, 30 out. 2020. Disponível em: <https://empreender360.org.br/case-e-diagnostico-polo-de-confeccao-textil-do-agreste-pernambucano/>. Acesso em: 23 out. 2022.

BRITO, G. F. S.; OLIVEIRA, R.; GRISOLIA, C. K.; GUIRRA, L. S.; WEBER, I. T.; ALMEIDA, F. V. **Evaluation of advanced oxidative processes in biodiesel wastewater treatment**. Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry, v. 375, p. 85-90, 2019.

BURAS, M. P.; DONADO, F. S. **Identifying and Estimating the Location of Sources of Industrial Pollution in the Sewage Network**. Sensors, v. 21, n. 10, p. 3426, 2021.

CARVALHO, R. A.; MUCK, F. A. L.; CORRÊA, S. S.; CARVALHO, C. P.; CAREGNATO, S. E. **Métodos de seleção de autores para estudos de cocitação: como definir um ponto de corte**. Brazilian Journal of Information Science: research trends. Marília, SP: UNESP, Faculdade de Filosofia e Ciências. Vol. 15 (2021),[29] p., 2021.

CECI, M. **Com incentivos, indústria têxtil se consolida no nordeste**. Tribuna do Norte, 2018. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/com-incentivos-industria-ta-xtil-se-consolida-no-nordeste/404095>. Acesso em: 16 ago. 2022.

CHAGAS, C. C. **Processos oxidativos avançado: 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, 2022.

CHHETRI, R., KUMAR, P., PANDEY, V.P.; SINGH, R.; PANDEY, S. **Vulnerability assessment of water resources in Hilly Region of Nepal**. Sustainable Water Resource Management, v. 6, n. 34, 2020.

CRINI, G., LICHTFOUSE, E. **Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment**. Environmental Chemistry Letters, v. 17, p. 145–155, 2019.

DA SILVA FILHO, A. R. A.; DUARTE, A. D.; PEDROSA, T. D.; SILVA, G. L.; PÊSSOA, S. G. S. **Análise da importância do reuso da água em lavanderias de beneficiamento de jeans**. Research, Society and Development, v. 10, n. 6, p. e40710614402-e40710614402, 2021.

DE BONI, L. A. B., CAMANA, J. *Periódico Tchê Quim.*, 11, 79, 2014.

DELTA MÁQUINAS TÊXTEIS. **Conheça agora as tendências do setor têxtil para 2030.** 2022. Disponível em: <https://www.deltamaquinastexteis.com.br/tendencias-do-setor-textil/>. Acesso em: 18 mai. 2023.

DHANGAR, K; KUMAR, M. **Tricks and tracks in removal of emerging contaminants from the wastewater through hybrid treatment systems: a review.** *Science of the Total Environment*, v. 738, p. 140320, 2020.

DIAS, F. F.; SILVA, P. B. V.; SANTOS, A. F. M. S.; ANDRADE, J. G. P.; ALBUQUERQUE, I L. T. **Tratamento de efluente têxtil através de processo oxidativo avançado (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/UV).** *Revista Geama*, p. 4-9, 2018.

DUARTE, A. D; DA SILVA, G. L. **Aplicação da ferramenta de Análise de Ciclo de Vida (ACV) no processo de tratamento de efluentes em uma lavanderia de beneficiamento de jeans.** *Exacta*, v. 18, n. 2, p. 355-367, 2020.

ESTEVES, E.; PEIXOTO, C. **O Império do Jeans em Toritama: Uma cidade revestida de fábricas.** Leia Já, 2021. Disponível em: <http://especiais.leiaja.com/descosturandoacrise/materia2.html>. Acesso em: 22 out. 2021.

ESTEVES, E.; PEIXOTO, C. **Polo de Confecções do Agreste, um potencial ainda pouco conhecido.** Leia Já, 2022. Disponível em: <http://especiais.leiaja.com/descosturandoacrise/materia1.html>. Acesso em: 06 abr. 2023.

FEBRATEX GROUP. **Conheça a situação do Brasil no setor de fibras têxteis.** 2020. Disponível em: <https://fcem.com.br/noticias/situacao-do-brasil-no-setor-de-fibras-texteis/#:~:text=Mercado%20das%20fibras%20t%C3%AAs%20no%20Brasil&text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20quarto,sua%20produ%C3%A7%C3%A3o%20ao%20mercado%20externo>. Acesso em: 04 abr. 2023.

FERREIRA, E. S. B.; FERREIRA, R. S. B.; LUNA, C. B. B.; ARAÚJO, E. M.; LIRA, H. L. **Hollow fiber membranes of several materials and their applications.** *Research, Society and Development*, v. 10 n. 1, e55910111206, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11206>. Acesso em: 09 abr. 2022.

FIGUEIREDO, J. L.; RIBEIRO, F. R. **Catálise Heterogênea.** Catouste, F. G., Ed.; Lisboa, 2016.

FIGOREZE, M.; SANTOS, E. P; SCHMACHTENBERG, N. **Advanced oxidative processes: fundamentals and environmental application.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 79-91, 2014.

GAZOLA, L. **Análise das legislações estaduais brasileiras sob ensaios ecotoxicológicos como ferramenta no controle de lançamento de efluentes industriais.** 2020. Dissertação do Programa de Pós-Graduação (Perícias Criminais Ambientais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

GAVIRIA-ARROYAVE, M. I.; OSORIO-ECHAVARRÍA, J.; GÓMEZ-VANEGAS, N. A. **Evaluating the scale-up of a reactor for the treatment of textile effluents using *Bjerkandera* sp.** Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, n. 88, pp. 80-90, 2018.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Secretaria da Educação. **Escola Estadual de Educação Profissional – EEEP.** Técnico em Química - Controle Ambiental. Disponível em: [https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/10/quimica\\_controle\\_ambiental.pdf](https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/10/quimica_controle_ambiental.pdf). Acesso em: 23 de mar. 2023.

HOLKAR, R. C.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. **A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches.** Journal of Environmental Management, v. 182, pp. 351-366, 2016.

IBERDROLA. A poluição da água: como não colocar em perigo a nossa fonte de vida. **POLUIÇÃO DA ÁGUA.** Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/poluicao-da-agua>. Acesso em: 22 set. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Secretaria da Educação. Escola Estadual de Educação Profissional – EEEP. Técnico em Química - Controle Ambiental. Disponível em: [https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/10/quimica\\_controle\\_ambiental.pdf](https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/10/quimica_controle_ambiental.pdf). Acesso em: 23 de mar. 2023.

HOLKAR, R. C.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. **A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches.** Journal of Environmental Management, v. 182, pp. 351-366, 2016.

IBERDROLA. **A poluição da água: como não colocar em perigo a nossa fonte de vida.** **POLUIÇÃO DA ÁGUA.** Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/poluicao-da-agua>. Acesso em: 22 set. 2022.

KHAN, S.; ANAS, M.; MALIK, A. **Mutagenicity and genotoxicity evaluation of textile industry wastewater using bacterial and plant ioassays.** Toxicology Reports, v. 6, p. 19-201, 2019.

KHATRI, JAYRAJ.; NIDESH, P. V.; SINGH, T. S. A.; KUMAR, M. S. **Advanced oxidation process based on zero-valent aluminium for treating textile wastewater.** Chemical Engineering Journal, v. 348, p. 67-73, 2018.

KIRAN, S.; ADEEL, S.; NOSHEEN, S.; HASSAN, A.; USMAN, M.; RAFIQUE, M. A. **Recent trends in textile effluent treatments: A review.** Adv. Materials for Wastewater Treatment, v. 29, p. 29-49, 2017.

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, 2022.

LINO, L. F. M. **Aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes da indústria têxtil e degradação de corantes**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Rio Claro, 2021.

LINS, G. A. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs)**. 2010. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LIU, YOUNG-QUIANG.; MAULIDANY, N.; ZENG, P; HEO, S. **Decolourization of azo, anthraquinone and triphenylmethane dyes using aerobic granules: Acclimatization and long-term stability**. Chemosphere, v. 263, 128312, 2021.

LUIZ, S., & VALENTIM, A. F. **Lavanderia em jeans e a sustentabilidade em moda**. Instituto Federal de Santa Catarina. Araranguá, Santa Catarina, Brasil.18, 2019.

MDIC- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Comex Stat. Exportação e Importação em geral**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: Maio/2019.

MIKLOS, D. B.; REMY, C.; JEKEL, M.; LINDEN, K. G.; DREWES, J. E.; HUBNER, U. **Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment—A critical review**. Water Research, v. 139, p. 118-131, 2018.

MIRZA, N. R.; HUANG, R.; DU, E.; PENG, M.; PAN, Z.; DING, H.; SHAN, G.; LING, L.; XIE, Z. **A review of the textile wastewater treatment technologies with special focus on advanced oxidation processes (AOPs), membrane separation and integrated AOP-membrane processes**. Desalination and Water Treatment, v. 206, p. 83-107, 2020.

MORAIS, P. A. **Poluição hídrica no contexto brasileiro: uma análise de produções da revista Química Nova na Escola**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Licenciatura em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

NAVIN, P. Kr; KUMAR, S.; MATHUR, M. **Textile wastewater treatment: a critical review**. International Journal of Engineering Research & Technology, v. 6, n. 11, p. 1-7, 2018.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 10 de abr. 2023.

NIDHEESH, P. V., GANDHIMATHI, R., RAMESH, S. T. **Degradation of dyes from aqueous solution by Fenton processes: a review**. Environmental Science and Pollution Research, v. 20, p. 2099-2132, 2013.

NIDHEESH, P. V.; DIVYAPRYA, G.; TITCHOU, F.E.; HAMDANI, M. **Treatment of textile wastewater by sulfate radical based advanced oxidation processes**. Separation and Purification Technology, p. 121115, 2022.



NOGUEIRA, R. F. P.; TROVÓ, A. G.; SILVA, M. R. A.; VILLA, R. D.; OLIVEIRA, M. C. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton**. Química nova, v. 30, p. 400-408, 2007.

NUNES, G. R. **Geração e tratamento de efluentes da indústria têxtil**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019.

OLIVEIRA, L. G.; FERNANDES, F. H.; MESQUITA, W. D.; JÚNIOR, M. G.; SANTOS, M. R. C.; GURGEL, M. F. C. **Uma Revisão do Uso de Processos Oxidativos Avançados para Descoloração de Águas Residuárias de Efluentes**. Revista Processos Químicos, v. 13, n. 26, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). **Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos. Água para um mundo sustentável- Sumário Executivo**. WWDR. 2015a. 08 p, 2015.

PATEL, H.; YADAV, V. K.; YADAV, K. K.; CHOUDHARY, N.; KALASARIYA, H.; ALAM, M. M.; GACEM, A.; AMANULLAH, M.; IBRAHIUM, H. A.; PARK, J.; PARK, S.; JEON, B. **A Recent and Systemic Approach Towards Microbial Biodegradation of Dyes from Textile Industries**. Sustainability, 14 (19), 3163, 2022.

PAŹDZIOR, K.; BILIŃSKA, L.; LEDAKOWICZ, S. **A review of the existing and emerging Technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment**. Chemical Engineering Journal, v. 376, 120597, 2019.

PEREIRA, R. S.; SANTOS, I. C.; OLIVEIRA, K. S.; LEÃO, N. C. A. **Metanálise como instrumento de pesquisa: Uma revisão sistemática dos estudos bibliométricos em Administração**. RAM. Revista de Administração Mackenzie, v. 20, 2019.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD) & INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Plataforma Agenda 2030**. 2019. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>. Acesso em: 25/02/2021.

QUEIROZ, M. T. A.; FERNANDES, C. M.; ALVIM, L. B.; COSTA, T. C.; AMORIM, C. C. **Produção mais limpa: Fenton homogêneo no tratamento de efluentes têxteis**. Anais do VIII Simpósio de Gestão e Tecnologia, 2011.

QUEIROZ, M. T. A.; QUEIROZ, C. A.; ALVIM, L. B.; SABARÁ, M. G.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. **Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos**. Gestão & Produção, v. 26, 2019.

RAMASAMY, R.; ARAGAW, T.A.; SUBRAMANIAN, R. B. **Wastewater treatment plant effluent and microfiber pollution: focus on industry-specific wastewater**. Environmental Science and Pollution Research, 29, 51211–51233, 2022.

RAMOS, M. D. N.; REZENDE, P. H. V.; CABRAL, L.; SANTOS, L. A.; COSTA, G. G.; MESQUITA, P. L. ; AGUIAR, A. **Análise Crítica das Características de Efluentes Industriais do Setor Têxtil no Brasil**. Revista Virtual Química, 12 (4), p. 913-929, 2020.

RAMOS, M D. N.; LIMA, J. P. P.; AQUINO, S. F.; AGUIAR, A. **A critical analysis of the alternative treatments Applied to effluents from Brazilian textile industries**. Journal of Water Process Engineering, v. 43, 102273, 2021.

REMADI. MATERIAIS HIDRÁULICOS. 2020. **A importância da água em nosso planeta**. Disponível em: <https://www.remadi.com.br/noticia/a-importancia-da-agua-em-nosso-planeta>. Acesso em: 20 mar. 2023.

RESENDE, F. L.; ABRANTES, T. C.; PELLEGRINETTI, T. A. **Caracterização da qualidade da água em função de suas Demandas Química e Bioquímica de Oxigênio (DQO e DBO)**. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia, 2016.

RESENDE, J. A. V. **Avaliação do Projeto de Tratamento de Efluentes Industriais do Distrito Agroindustrial de Anápolis, Goiás**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos) – Instituto Federal do Ceará, Goiânia, 2016.

REVISTA QUÍMICA E DERIVADOS. **Corantes têxteis – Inovações oferecem redução do consumo de água**. Química e Derivados, 20 de maio de 2021. 2021. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/corantes-texteis-inovacoes-oferecem-reducao-do-consumo-de-agua/>. Acesso em: 30 ago. 2022.

ROCHA, S.; NASCIMENTO, G. E.; SILVA, P. K. A.; LUCENA, A. L. A.; PROCÓPIO, T. F.; NAPOLEÃO, T. H.; DUARTE, M. M. B.; NAPOLEÃO, D. C. **Kinetic and ecotoxicological evaluation of the direct orange 26 dye degradation by Fenton and solar photo-Fenton processes**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. e5-e5, 2018.

ROCHA, C. M. R. S.; SILVA, V. P. R.; SILVA, P. F.; CAMPOS, J. H. B. C. **Análise do consumo de água e produtos químicos em indústrias têxteis no Agreste Pernambucano**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 1, p. 581-594, 2021.

SANTANA, R. M. R.; CHARAMBA, L. C. V.; DO NASCIMENTO, G. E.; DUARTE, M. M. B.; NAPOLEÃO, D. C. **Degradation of Textile Dyes Employing Advanced Oxidative Processes: Kinetic, Equilibrium Modeling, and Toxicity Study of Seeds and Bacteria**. Water, Air, and Soil Pollution, v. 230, n. 6, p. 1-13, 2019.

SILVA, G. L.; BARROS, C. R.; REZENDE, R. B. **Diagnóstico ambiental das lavanderias de jeans de Toritama - Pernambuco**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

SILVA, D. F. L.; DUARTE, A. D.; FERNADES, D. A.; FILHO, A. R. A. S.; SILVA, G. L. **VI-066-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**. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro- RJ, 2015.

SILVA, H. S. **Princípios de tratamento de efluentes líquidos**. Química Têxtil, São Paulo, ABQCT, v. 39, p. 56-65, 2015.

SILVA, R. F. **Degradação de corante de efluente têxtil por processo oxidativo avançado**. 2015. Tese do Programa de Doutorado (Curso de Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Recife, 2015.

SILVA, R. F.; SILVA, G. L.; MILANEZ, V. F. A.; SILVA, R. O. **Estudo da Toxicidade de Efluente Têxtil Submetido à Processo Oxidativo Avançado**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 30º CONGRESSO ABES, 2019.

SILVA, B. L.; XAVIER, M. G. P. **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, v. 6, n. 6, p. 41458-41476, 2020.

SILVA, M. P.; SOUZA, Z. S. B.; CAVALCANTI, J. V. F. L.; FRAGA, J. M.; SOBRINHO, M. A. M.; GHISLANDI, M. G. **Adsorptive and photocatalytic activity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> functionalized multilayer graphene oxide in the treatment of industrial textile wastewater**. Environmental Science Pollution Research, v. 28, 23684–23698, 2021.

SINDLAV. **Sustentabilidade em Lavanderias de Jeans**. 2021. Disponível em: Recuperado de: <http://sindilav.com.br/noticias/set-out-2011/sustentabilidade-em-lavanderias-de-jeans/>. Acesso em: 02 set. 2022.

SOUZA, B. M. **Avaliação de processos oxidativos avançados acoplados com carvão ativado granulado com biofilme para reuso de efluentes de refinaria de petróleo**. 2010; 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, A. L.; COSTA, A. R. S.; EL-DEIR, S. G. **Indicadores de sustentabilidade com o auxílio na gestão de resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso de pegada ecológica**. In: EL-DEIR, S. G.; MELO, A. M.; SOUTO, S. J. M. P. (Orgs.). Resíduos sólidos: O desafio da gestão integrada de resíduos sólidos frente face aos objetivos do desenvolvimento sustentável. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, p. 300 – 307, 2016.

STEFANI, S. R.; DELGADO, C. **Sustentabilidade organizacional e suas métricas: revisão sistemática utilizando o método PRISMA**. Revista Gestão em Análise, v. 10, n. 3, p. 204-219, 2021.

TEXEIRA, S. F.; VERÇOZA, G.; LUZ, G. C. B.; CAMPOS, S. S. **Coleta e Tratamento do Esgoto Sanitário na Bacia do Rio Capibaribeatendida pela Compesa**. In: MENEZES, N. S.; EL- DEIR, S. G.; GUEDES, F. L.; ALMEIDA, I. M. S. (Orgs.). Resíduos sólidos: Educação e Meio Amiente. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, p. 527 – 539, 2021.

THE EUROPEAN COMMISSION. **Integrated pollution prevention and control. Reference document on best available techniques for the textiles industry**, 626, 2003. Disponível em: BAT reference documents | Eippcb (europa.eu). Acesso em: 31 out. 2022.

VASCONCELOS, M. W.; GONÇALVES, S.; OLIVEIRA, E. C.; RUBERT, S.; GHISI, N. C. **Textile effluent toxicity trend: A scientometric review**. Journal of Cleaner Production, p. 132756, 2022.

VELUSAMY, S.; ROY, A.; SUNDARAM, S.; KUMAR MALLICK, T. **A review on heavy metal ions and containing dyes removal through graphene oxide-based adsorption strategies for textile wastewater treatment**. The Chemical Record, 21, 1570–1610, 2021.

VIANA, M. A. **Avaliação da eficiência de estação de tratamento de efluente de lavanderia de beneficiamento de jeans no arranjo produtivo local têxtil do agreste pernambucano: um estudo de caso**. 2019. Dissertação do Programa de Pós-Graduação (Curso de Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

WEI, F.; SHAHID, M.J.; ALNUSAIRI, G. S. H.; AFZAL, M., KHAN, A.; EL-ESAWI, M. A.; ABBAS, Z.; WEI, K.; ZAHEER, I.E.; RIZWAN, M.; ALI, S. **Implementation of floating treatment wetlands for textile wastewater management: a review**. Sustainability, 12, 1–29, 2020.

WITKOSKI, S. S. R.; MORGENSTERN, E. C. **Tecidos de algodão no contexto da moda: classificação quanto ao impacto ambiental**. Modapalavra e-periódico, v. 14, n. 34, p. 61-84, 2021.

ZANETTI, M. **Otimização do tratamento da água residuária proveniente da lavagem de PET para reciclagem**. 2018. Dissertação do Programa de Mestrado (Curso de Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, Poços de Caldas, 2018.

## APÊNDICE A – TABELA DOS ARTIGOS 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 photocatalytic degradation of commercial azo dyes and industrial effluents.</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.
<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> Gomes <i>et al.</i> , (2021)	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.
<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> Souza <i>et al.</i> , (2021)	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).
<b>Textile wastewater treatment by underwater parallel-multi-tube air discharge plasma jet.</b> Rashid; Chowdhury & Talukder (2021)	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.

REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO DO ESTUDO
<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>

**APÊNDICE B – TABELA DE ANÁLISE DOS ARTIGOS DA BASE DE DADOS DA  
SCOPUS**

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> (Feuзер-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>Preparation of a new green composite based on chitin biochar and ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> for photo-Fenton degradation of Rhodamine B.</b> (Weelter <i>et al.</i> , 2022)	No presente estudo, foram estudadas técnicas para a remoção do corante Rodamina B. A ferrita de zinco (ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) foi sintetizada e suportada em diferentes massas de biochar de quitina (ZnFO <sub>1</sub> /B <sub>1</sub> , ZnFO <sub>1</sub> /B <sub>3</sub> e ZnFO <sub>3</sub> /B <sub>1</sub> ) e então caracterizada por FE-SEM, EDS, HR-TEM, FT- Espectros de IR, XRD, UV-Vis e potencial Zeta.
<b>Taguchi L16(4<sup>4</sup>) orthogonal array-based study and thermodynamics analysis for electro-Fenton process treatment of textile industrial dye.</b> Ahmad & Debolina, (2022)	O estudo atual apresenta o tratamento de oxidação avançado baseado em eletro-Fenton do corante RO16 e a otimização do processo por design de experimento (DOE) baseado em Taguchi.
<b>Degradation of persistent organic pollutant using Ag-doped ZnO-ZnS–polyaniline composite as photocatalyst.</b> Khan <i>et al.</i> , (2022)	O presente trabalho apresentou uma abordagem eficaz para o tratamento fotocatalítico de água poluída usando um material promissor. Neste estudo, o fotocatalisador ZnO-ZnS/polianilina (Ag/ZnO-ZnS/PANI) dopado com Ag foi sintetizado usando um método simples de coprecipitação seguido de deposição de Ag assistida por ultrassom e polimerização oxidativa <i>in-situ</i> .
<b>Advanced oxidation process as a green technology for dyes removal from wastewater: A review.</b> Azmi <i>et al.</i> , (2021)	Este estudo teve como objetivo apresentar as diversas tentativas de degradação de corantes em efluentes têxteis utilizando os diversos processos avançados de oxidação.
<b>Removal of a Mixture of Blue BF-5G and Chocolate Brown Textile Dyes Through Adsorption and Degradation: an Assessment of the Individual and Combined Processes.</b> Nascimento <i>et al.</i> , (2021)	Este trabalho analisa a remoção de corantes têxteis reativos azul BF-5G e marrom chocolate de uma mistura aquosa usando adsorção, processos oxidativos avançados (POA) e a combinação desses dois processos.
<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> Souza <i>et al.</i> , (2021)	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).

REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO DO ESTUDO
<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> Gomes <i>et al.</i> , (2021)	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.
<b>Adsorptive and photocatalytic activity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> functionalized multilayer graphene oxide in the treatment of industrial textile wastewater.</b> Silva <i>et al.</i> , (2021)	A pesquisa traz um estudo e resultados quanto as perspectivas satisfatórias ao futuro emprego, em larga escala, do MmGO como nanocatalisador de poluentes têxteis.
<b>Degradation of recalcitrant textile azo-dyes by fenton-based process followed by biochar polishing.</b> (Feuzer-Matos <i>et al.</i> , 2021)	O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de remoção de corante de um processo de degradação à base de Fenton seguido de uma etapa de polimento usando biochar preparado a partir de casca de arroz.
<b>Photocatalytic degradation of real textile wastewater using carbon black-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> composite catalyst under UV/Vis irradiation.</b> (Domingues <i>et al.</i> , 2021)	Este trabalho investigou a impregnação de Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> em negro de fumo (CB) em diferentes proporções e seu efeito na degradação fotocatalítica de efluentes reais de uma fábrica de tingimento por processos oxidativos avançados (AOP).
<b>Evaluation of the efficiency of coagulation/flocculation and Fenton process in reduction of colour, turbidity and COD of a textile effluent.</b> Favero <i>et al.</i> , (2020)	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.
<b>Degradation of methylene blue dye using dimethyl dioxirane as oxidizing agent.</b> Vinotha <i>et al.</i> , (2020)	Este estudo relata a oxidação avançada do azul de metileno por meio da ação combinada do dimetil dioxirano. A influência de diferentes parâmetros, como concentração de agente oxidante, concentração inicial de corante e pH no processo oxidativo foi estudada.
<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> Rosa <i>et al.</i> , (2020)	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.
<b>Ultra-small CoO: X/GO catalyst supported on ITO glass obtained by electrochemical post-treatment of a redox-active infinite coordination polymer: A portable reactor for real-time monitoring of catalytic oxidative degradation of colored wastewater.</b> You <i>et al.</i> , (2020)	Neste trabalho, foi desenvolvido um novo método para preparar um catalisador CoO <sub>x</sub> /GO suportado em vidro ITO por pós-tratamento eletroquímico de polímero de coordenação infinita (ICP) redox-ativo {Co(3,5-dbsq)(3,5-dbcate)(bix)} nanopartículas.
<b>Degradation of Textile Dyes Employing Advanced Oxidative Processes: Kinetic, Equilibrium Modeling, and Toxicity Study of Seeds and Bacteria.</b> Santana <i>et al.</i> , (2019)	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 e verificou-se que a solução tratada era tóxica.



REFERÊNCIAS	DESCRIÇÃO DO ESTUDO
<b>Kinetic study of the effect of methylene blue on the decolorization of other dyes by Fenton processes.</b> Costa & Aguiar (2019)	O presente trabalho avaliou a influência do corante Azul de Metileno na descoloração de outros corantes pelos processos de Fenton ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ , $\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ).
<b>Sono-advanced Fenton-like degradation of aromatic amines in textile dyeing sludge: efficiency and mechanisms.</b> Zou <i>et al.</i> , (2019)	Neste artigo, uma nova estratégia integrando ultrassom (US) com um processo semelhante a Fenton (ferro valente/EDTA/ar, ZEA) foi proposta para a remoção de aminas aromáticas (AAs) refratárias e cancerígenas em lodo de tingimento têxtil para a primeira vez.
<b>Application of advanced oxidation process for the treatment of hydrofracked water.</b> Sinha <i>et al.</i> , (2018)	Neste trabalho, foi investigado o desempenho dos processos de tratamento de água primária e secundária para tratar a água hidrofraqueada coletada da base Forward, ONGC, Ankleshwar, Gujarat, Índia. Foi estudada a coagulação com alúmen de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , $24\text{H}_2\text{O}$ ), um coagulante inorgânico. Foi desoberto que o uso do processo Fenton elimina a necessidade de tratamento primário, como a coagulação.

### APÊNDICE C – ARQUIVO *THESAURUS FILE*

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
LABEL	REPLACE BY			
WASTE WATER	WASTEWATER			
WATER POLLUTANT	CHEMICAL	WATER POLLUTANT		
ADVANCED OXIDATION PROCESS		ADVANCED OXIDATIVE PROCESS		
AZO DYE	AZO DYES			
COLORIN AGENT	COLORIN AGENTS			
OPTIMIZATIONS	OPTIMIZATION			
OXIDATION OF DYE MOLECULES		OXIDATION OF DYE MOLECULE		
PERSISTENT ORGANIC POLLUTANT		PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS		

### ANEXO D - RESULTADO DA PESQUISA NA PLATAFORMA *WEB OF SCIENCE*

12 resultados de Coleção principal da Web of Science para:

Q Textile Effluents, Textile Industry and Advanced Oxidative Processes (Todos os campos)

Analisar resultados

Relatório de citações

Filtrado por: Anos da publicação: 2019 or 2020 or 2021 or 2022 or 2023 or 2018 X Limpar todos

### ANEXO E - RESULTADO DA PESQUISA NA PLATAFORMA *SCOPUS*


20 document results

TITLE-ABS-KEY ( advanced AND oxidative AND processes ) AND TITLE-ABS-KEY ( textile AND 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 ) )

Edit Save Set alert

## ANEXO F – ANÁLISE DE COAUTORIA COM OS DADOS DA *SCOPUS*

Create Map X

 **Choose type of analysis and counting method**

Type of analysis: ?

☒ Co-authorship

☐ Co-occurrence

☐ Citation

☐ Bibliographic coupling

☐ Co-citation

Unit of analysis:

☒ Authors

☐ Organizations

☐ Countries

Counting method: ?

☒ Full counting

☐ Fractional counting

VOSviewer thesaurus file (optional): ?


D:\UFPE\TCC II\TESAU (SCOPUS).txt

☒ Ignore documents with a large number of authors

Maximum number of authors per document:

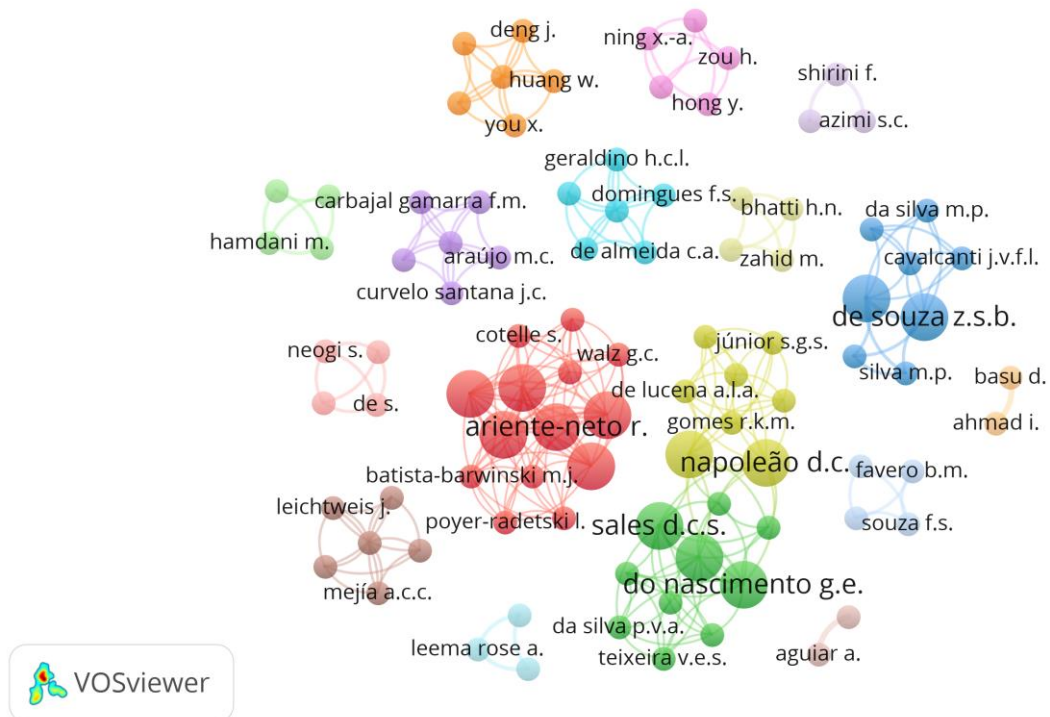
## ANEXO G – RESULTADO DA ANÁLISE DE COAUTORIA COM OS DADOS DA *SCOPUS*

Create Map X

 **Verify selected authors**

Selected	Author	Documents	Citations ▼	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	araújo 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 titchou f.	1	26	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	hamedani 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

## ANEXO H – MAPA DE REDE DA ANÁLISE DE COAUTORIA COM OS DADOS DA SCOPUS



## ANEXO I – ANÁLISE DE CO-OCORRÊNCIA COM OS DADOS DA SCOPUS

Create Map

**Choose type of analysis and counting method**

Type of analysis: ?

- ☐ Co-authorship
- ☒ Co-occurrence
- ☐ Citation
- ☐ Bibliographic coupling
- ☐ Co-citation

Unit of analysis:

- ☒ All keywords
- ☐ Author keywords
- ☐ Index keywords

Counting method: ?

- ☒ Full counting
- ☐ Fractional counting

VOSviewer thesaurus file (optional): ?

D:\UFPE\TCC II\TESAU (SCOPUS).txt

...

< Back


Next >


Finish

Cancel

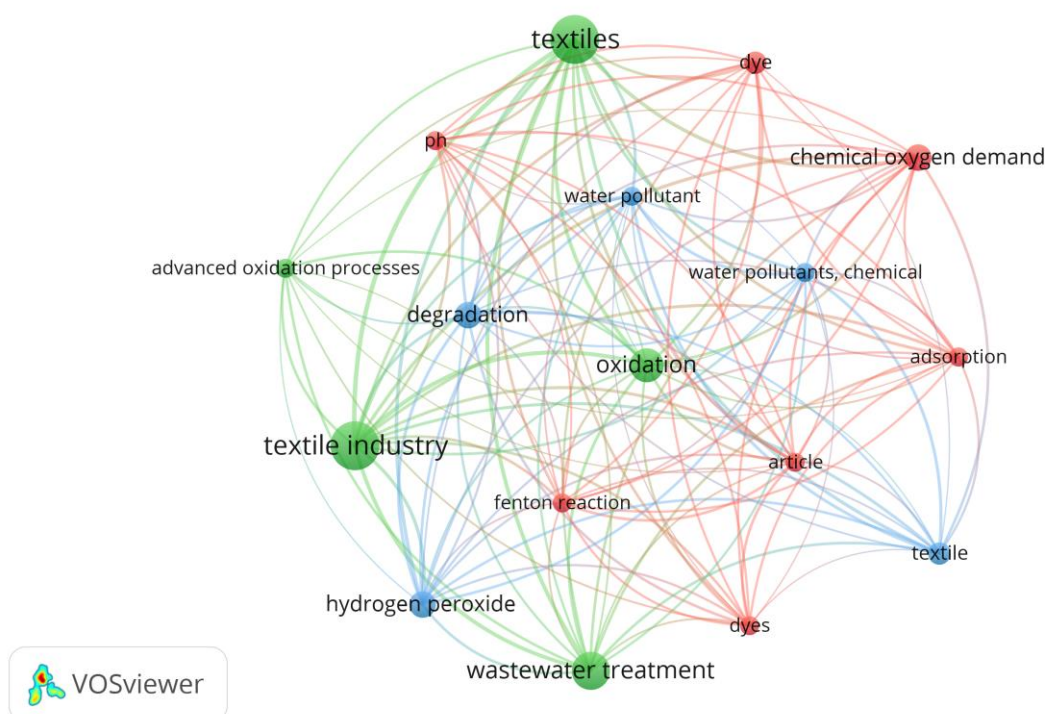
## ANEXO J – RESULTADO DA ANÁLISE DE CO-OCORRÊNCIA COM OS DADOS DA SCOPUS

Create Map ×

 **Verify selected keywords**

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength 
<input checked="" type="checkbox"/>	textiles	13	90
<input checked="" type="checkbox"/>	textile industry	13	89
<input checked="" type="checkbox"/>	wastewater treatment	10	61
<input checked="" type="checkbox"/>	chemical oxygen demand	7	57
<input checked="" type="checkbox"/>	hydrogen peroxide	7	57
<input checked="" type="checkbox"/>	oxidation	9	56
<input checked="" type="checkbox"/>	degradation	7	52
<input checked="" type="checkbox"/>	article	5	50
<input checked="" type="checkbox"/>	textile	6	48
<input checked="" type="checkbox"/>	adsorption	5	47
<input checked="" type="checkbox"/>	dyes	5	44
<input checked="" type="checkbox"/>	dye	6	42
<input checked="" type="checkbox"/>	fenton reaction	5	42
<input checked="" type="checkbox"/>	water pollutant	5	41
<input checked="" type="checkbox"/>	water pollutants, chemical	5	41
<input checked="" type="checkbox"/>	ph	5	39
<input checked="" type="checkbox"/>	advanced oxidation processes	5	26

## ANEXO K – MAPA DE REDE DA ANÁLISE DE COCORRÊNCIA COM OS DADOS DA SCOPUS



## ANEXO L – ANÁLISE DE CITAÇÃO COM OS DADOS DA SCOPUS

Create Map

**Choose type of analysis and counting method**

Type of analysis: ②

☐ Co-authorship  
☐ Co-occurrence  
☒ Citation  
☐ Bibliographic coupling  
☐ Co-citation

Unit of analysis:

☒ Documents  
☐ Sources  
☐ Authors  
☐ Organizations  
☐ Countries

Counting method: ②

☒ Full counting  
☐ Fractional counting

VOSviewer thesaurus file (optional): ②

D:\UFPE\TCC II\TESAU (SCOPUS).txt

< Back Next > Finish Cancel

## ANEXO M – RESULTADO DA ANÁLISE DE CITAÇÃO COM OS DADOS DA SCOPUS

Create Map


**Verify selected documents**

Selected	Document	Citations ▼	Links
<input checked="" type="checkbox"/>	rosa j.m. (2020)	38	0
<input checked="" type="checkbox"/>	nidheesh p.v. (2022)	26	0
<input checked="" type="checkbox"/>	santana r.m.r. (2019)	17	1
<input checked="" type="checkbox"/>	welter n. (2022)	13	0
<input checked="" type="checkbox"/>	you x. (2020)	13	0
<input checked="" type="checkbox"/>	domingues f.s. (2021)	12	0
<input checked="" type="checkbox"/>	de souza z.s.b. (2021)	10	0
<input checked="" type="checkbox"/>	da silva m.p. (2021)	10	0
<input checked="" type="checkbox"/>	gomes r.k.m. (2021)	7	1
<input checked="" type="checkbox"/>	azimi s.c. (2021)	7	0
<input checked="" type="checkbox"/>	favero b.m. (2020)	7	0
<input checked="" type="checkbox"/>	feuzer-matos a.j. (2021)	5	1
<input checked="" type="checkbox"/>	zou h. (2019)	5	0
<input checked="" type="checkbox"/>	khan f. (2022)	1	0
<input checked="" type="checkbox"/>	sinha s. (2018)	1	0
<input checked="" type="checkbox"/>	do nascimento g.e. (2021)	0	2
<input checked="" type="checkbox"/>	feuzer-matos a.j. (2022)	0	1
<input checked="" type="checkbox"/>	ahmad i. (2022)	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	vinotha s. (2020)	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	costa l.t.a. (2019)	0	0

< Back Next > Finish Cancel

## ANEXO N – ANÁLISE DE CITAÇÃO EM RELAÇÃO AOS PAÍSES COM OS DADOS DA SCOPUS

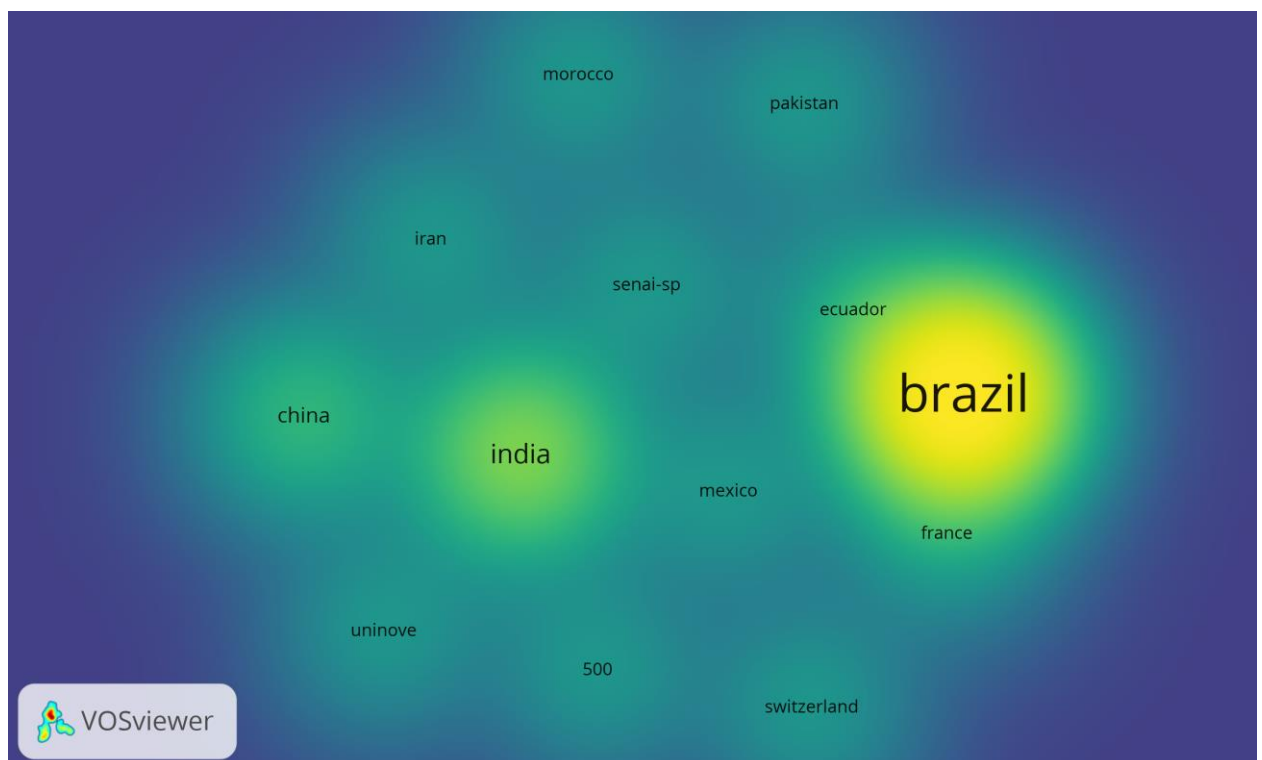
Create Map ×

 Verify selected countries

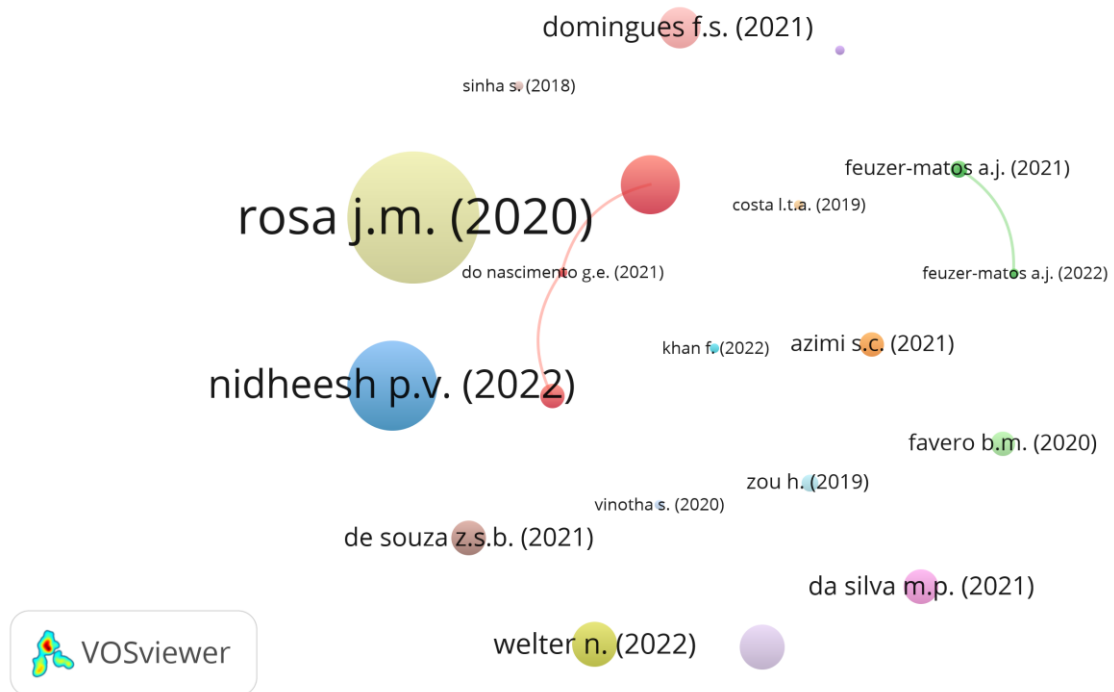
Selected	Country	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	brazil	12	119	3
<input checked="" type="checkbox"/>	ecuador	1	0	2
<input checked="" type="checkbox"/>	france	1	5	1
<input checked="" type="checkbox"/>	500	1	38	0
<input checked="" type="checkbox"/>	china	2	18	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

< Back   Next >   Finish   Cancel

## ANEXO O – MAPA DE DENSIDADE DA ANÁLISE DE CITAÇÃO POR PAÍS COM OS DADOS DA SCOPUS




## ANEXO P – MAPA DE REDE DA ANÁLISE DE CITAÇÃO COM OS DADOS DA SCOPUS



## ANEXO Q – ANÁLISE DE COAUTORIA COM OS DADOS DA WEB OF SCIENCE

Create Map ✕

 **Choose type of analysis and counting method**

<b>Type of analysis:</b> <span>?</span> <input checked="" type="radio"/> Co-authorship <input type="radio"/> Co-occurrence <input type="radio"/> Citation <input type="radio"/> Bibliographic coupling <input type="radio"/> Co-citation	<b>Unit of analysis:</b> <input checked="" type="radio"/> Authors <input type="radio"/> Organizations <input type="radio"/> Countries
---	--

**Counting method:** ?  
☐ Full counting  
☒ Fractional counting

VOSviewer thesaurus file (optional): ?  
 ...


☒ Ignore documents with a large number of authors  
 Maximum number of authors per document:

☐ Reduce first names of authors to initials



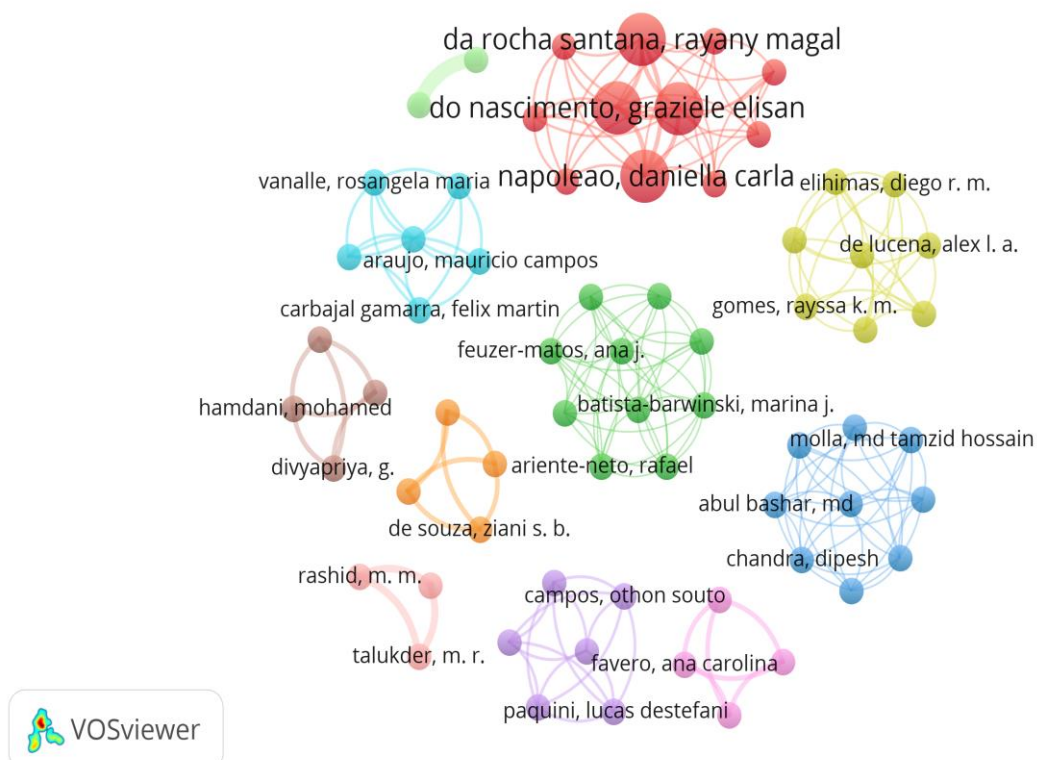
## ANEXO R – RESULTADO DA ANÁLISE DE COAUTORIA COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*

Create Map ×

 **Verify selected authors**

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, graziele 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

## ANEXO S – MAPA DE REDE DA ANÁLISE DE COAUTORIA COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*





## ANEXO T – RESULTADO DA ANÁLISE DE COAUTORIA POR PAÍS COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*

Create Map

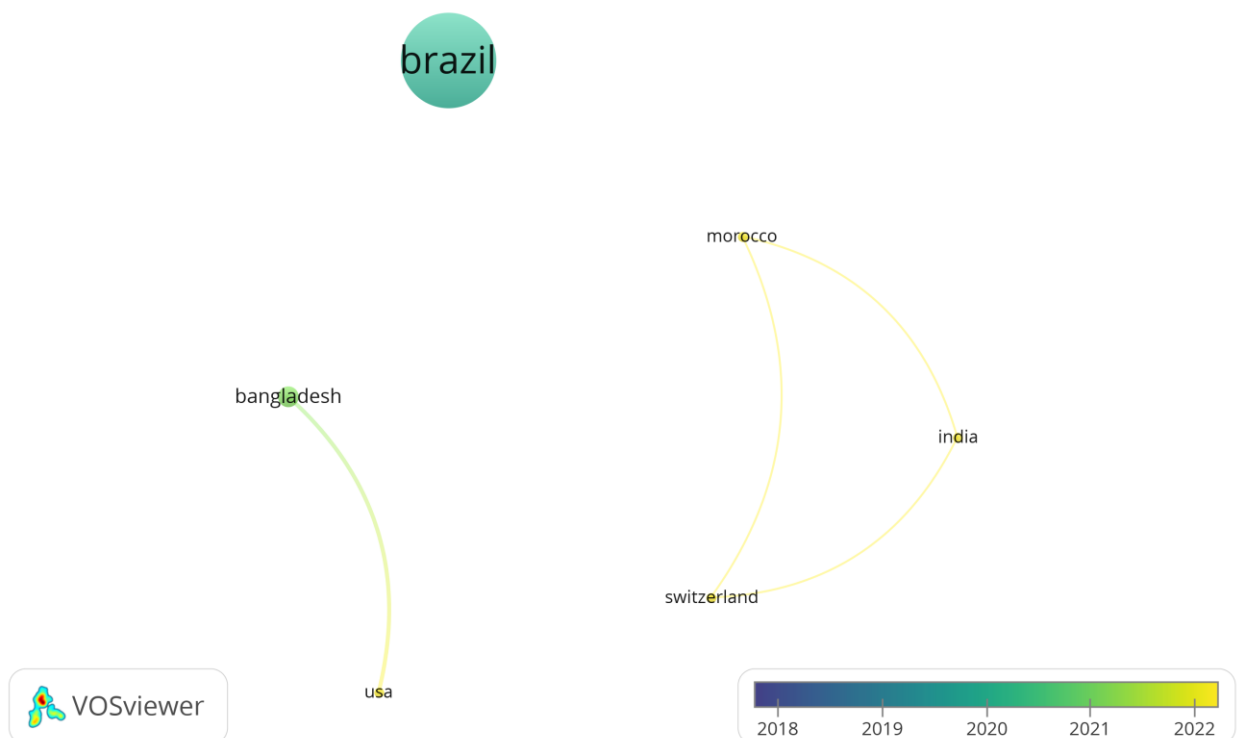
✕



Verify selected countries


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


## ANEXO U – MAPA DE REDE DA ANÁLISE DE COAUTORIA POR PAÍS COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*



## ANEXO V – ANÁLISE DE CO-OCORRÊNCIA DOS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*

Create Map

 **Choose type of analysis and counting method**

Type of analysis: 

☐ Co-authorship

☒ Co-occurrence

☐ Citation

☐ Bibliographic coupling


☐ Co-citation

Unit of analysis:

☒ All keywords


☐ Author keywords

☐ KeyWords Plus

Counting method: 

☐ Full counting

☒ Fractional counting


VOSviewer thesaurus file (optional): 

D:\UFPE\TCC II\TESAU (SCOPUS).txt

< Back   Next >   Finish   Cancel

## ANEXO W – RESULTADO DA ANÁLISE DE CO-OCORRÊNCIA COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*

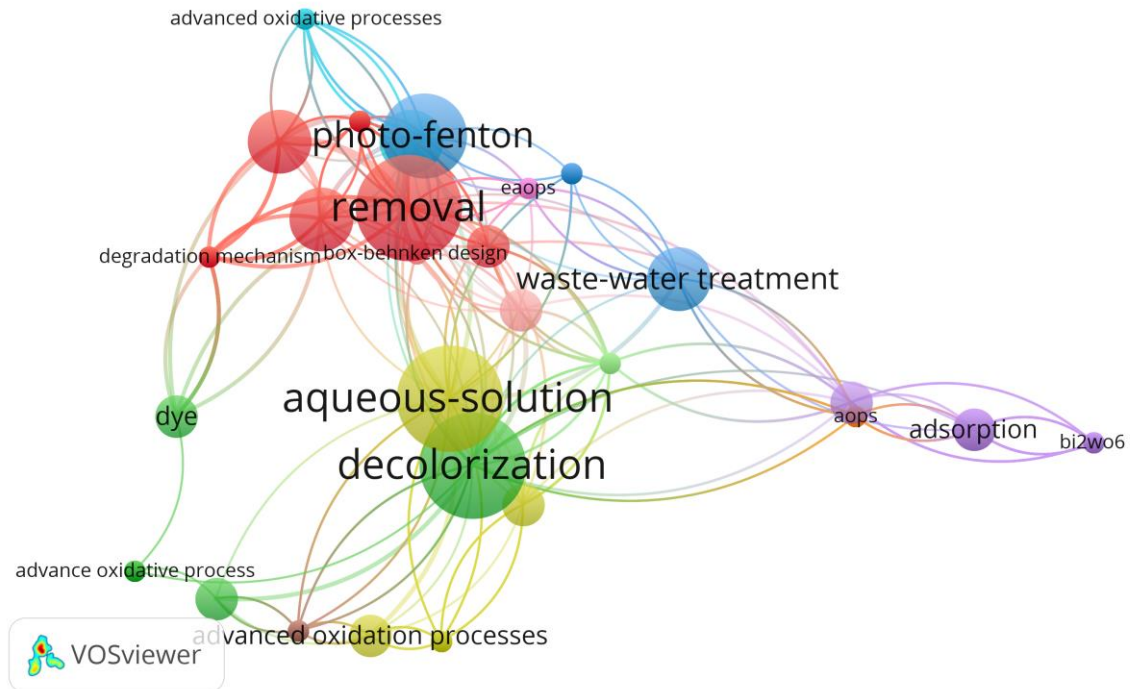
Create Map

 **Verify selected keywords**


Selected	Keyword	Occurrences ▼	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	aqueous-solution	5	5.00
<input checked="" type="checkbox"/>	decolorization	5	5.00
<input checked="" type="checkbox"/>	removal	5	5.00
<input checked="" type="checkbox"/>	photo-fenton	4	4.00
<input checked="" type="checkbox"/>	waste-water treatment	3	3.00
<input checked="" type="checkbox"/>	water	3	3.00
<input checked="" type="checkbox"/>	azo-dye	3	3.00
<input checked="" type="checkbox"/>	oxidation	3	3.00
<input checked="" type="checkbox"/>	dye	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	photocatalytic degradation	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	adsorption	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	advanced oxidation processes	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	advanced oxidative process	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	chemical oxidation	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	chemical oxygen demand	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	pharmaceuticals	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	textile waste-water	2	2.00
<input checked="" type="checkbox"/>	advanced oxidation	1	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	degradation mechanism	1	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	fenton reaction	1	1.00

< Back   Next >   Finish   Cancel

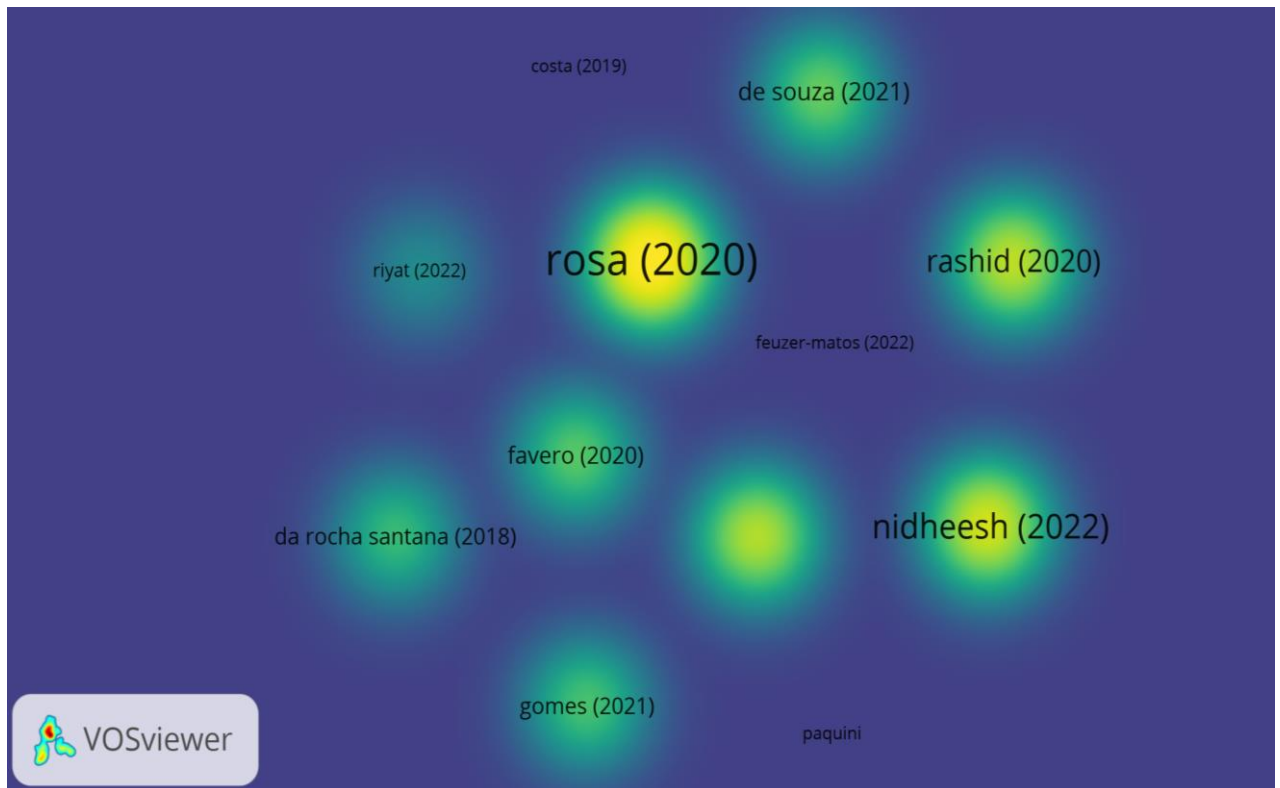
## ANEXO X – MAPA DE REDE DA ANÁLISE DE CO-OCORRÊNCIA COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*



## ANEXO Y – RESULTADO DA ANÁLISE DE CITAÇÃO COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*

Create Map <span>×</span>			
 <b>Verify selected documents</b>			
Selected	Document	Citations ▼	Links
<input checked="" type="checkbox"/>	rosa (2020)	32	0
<input checked="" type="checkbox"/>	nidheesh (2022)	19	0
<input checked="" type="checkbox"/>	rashid (2020)	16	0
<input checked="" type="checkbox"/>	da rocha santana (2019)	15	0
<input checked="" type="checkbox"/>	de souza (2021)	9	0
<input checked="" type="checkbox"/>	favero (2020)	8	0
<input checked="" type="checkbox"/>	gomes (2021)	7	0
<input checked="" type="checkbox"/>	da rocha santana (2018)	6	0
<input checked="" type="checkbox"/>	riyat (2022)	2	0
<input checked="" type="checkbox"/>	paquini	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	feuzer-matos (2022)	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	costa (2019)	0	0

## ANEXO Z – MAPA DE VISUALIZAÇÃO DE DENSIDADE DA ANÁLISE DE CITAÇÃO COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*



## ANEXO AA – ANÁLISE DE CO-CITAÇÃO COM OS DADOS DA *WEB OF SCIENCE*

Create Map

**Choose type of analysis and counting method**

Type of analysis: ?

- ☐ Co-authorship
- ☐ Co-occurrence
- ☐ Citation
- ☐ Bibliographic coupling
- ☒ Co-citation

Unit of analysis:

- ☐ Cited references
- ☐ Cited sources
- ☒ Cited authors

Counting method: ?

- ☐ Full counting
- ☒ Fractional counting

VOSviewer thesaurus file (optional): ?

D:\UFPE\TCC II\TESAU (SCOPUS).txt

*Warning: Web of Science data includes only the first author of a cited document. Other authors are not considered in a co-citation analysis of cited authors.*

< Back


Next >

Finish

Cancel

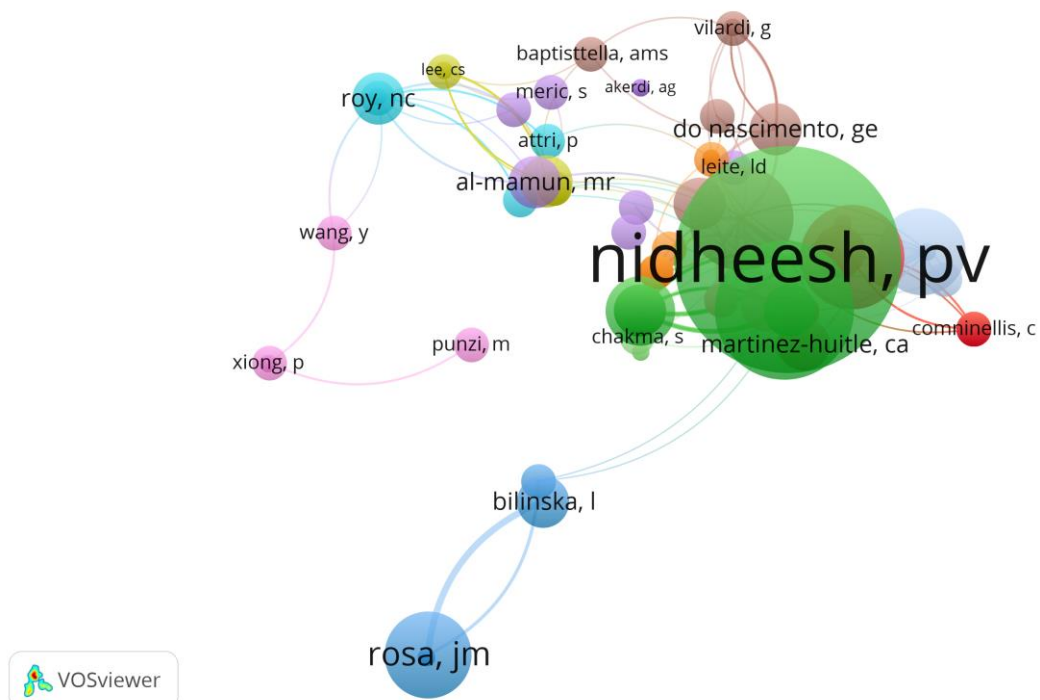
## ANEXO AB – RESULTADO DA ANÁLISE DE CO-CITAÇÃO COM OS DADOS DA WEB OF SCIENCE

Create Map ×

 **Verify selected authors**

Selected	Author	Citations ▼	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	nidheesh, pv	13	12.77
<input checked="" type="checkbox"/>	titchou, fe	8	7.82
<input checked="" type="checkbox"/>	chan, kh	6	6.00
<input checked="" type="checkbox"/>	brillas, e	6	5.90
<input checked="" type="checkbox"/>	rosa, jm	5	4.67
<input checked="" type="checkbox"/>	santana, cs	5	4.29
<input checked="" type="checkbox"/>	wang, jl	4	3.93
<input checked="" type="checkbox"/>	al-mamun, mr	3	3.00
<input checked="" type="checkbox"/>	paulino, trs	3	3.00
<input checked="" type="checkbox"/>	young, bj	3	3.00
<input checked="" type="checkbox"/>	martinez-huitle, ca	3	2.99
<input checked="" type="checkbox"/>	moreira, fc	3	2.99
<input checked="" type="checkbox"/>	babu, ds	3	2.99
<input checked="" type="checkbox"/>	ganiyu, so	3	2.99
<input checked="" type="checkbox"/>	bilinska, l	3	2.97
<input checked="" type="checkbox"/>	fang, gd	3	2.97
<input checked="" type="checkbox"/>	fedorov, k	3	2.97
<input checked="" type="checkbox"/>	liang, cj	3	2.97
<input checked="" type="checkbox"/>	verma, ak	3	2.96
<input checked="" type="checkbox"/>	do nascimento, ge	3	2.95

## ANEXO Z – MAPA DE REDE DA ANÁLISE DE CO-CITAÇÃO COM OS DADOS DA WEB OF SCIENCE



CÁSSIA GISELE DIAS PORTO

**PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAS) NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES TÊXTEIS APLICÁVEIS AO ARRANJO PRODUTIVO LOCA DE  
CONFECÇÕES DO ARESTE PERNAMUCANO: Uma Breve Revisão**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do  
Campus Agreste da Universidade Federal de  
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo  
científico, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de bacharel/licenciado em  
Engenharia Civil.

Aprovado em: 10/05/2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Gilson Lima da Silva (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Machado Santos (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Rogério Ferreira (Examinador Externo)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco