



UFRPE

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARCOS PEREIRA DE ARAUJO

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A GESTÃO DE ÁGUAS E EFLUENTES
NAS LAVANDERIAS DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

**RECIFE
2023**

MARCOS PEREIRA DE ARAUJO

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A GESTÃO DE ÁGUAS E EFLUENTES
NAS LAVANDERIAS DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente

Linha de Pesquisa: Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos

Orientadora: Profa. Dra. Rosângela Gomes Tavares

Coorientador: Prof. Dr. André Felipe de Melo Sales Santos

**RECIFE
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A663a

Araujo, Marcos Pereira de

Avaliação de alternativas para a gestão de águas e efluentes nas lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco / Marcos Pereira de Araujo. - 2023.

116 f. : il.

Orientadora: Rosangela Gomes Tavares.

Coorientador: Andre Felipe de Melo Sales Santos.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2023.

1. Indústria têxtil. 2. Beneficiamento têxtil. 3. Efluente têxtil. 4. Tratamento de efluente têxtil. 5. Reúso de águas. I. Tavares, Rosangela Gomes, orient. II. Santos, Andre Felipe de Melo Sales, coorient. III. Título

CDD 620.8

MARCOS PEREIRA DE ARAUJO

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A GESTÃO DE ÁGUAS E EFLUENTES
NAS LAVANDERIAS DO POLO TÊXTIL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Linha de Pesquisa: Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos.

Aprovada em _____ de _____ de 2023

Profa. Dra. Rosângela Gomes Tavares (Orientadora)
Presidente da Banca
PPEAMB/UFRPE

Prof. Dr. André Felipe de Melo Sales Santos (Coorientador)
PPEAMB/UFRPE

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gilson Lima da Silva (Membro Externo)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda (Membro Interno)
PPEAMB/UFRPE

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sua infinita misericórdia, por suas bênçãos e por sua proteção em todos os momentos que me levam à concretização dessa etapa acadêmica e da realização desse sonho.

Aos meus queridos orientadores, Rosângela e André, por todas as orientações, sugestões, considerações e avaliações extremamente importantes e necessárias para a realização desta pesquisa. Meu agradecimento, também, por toda paciência, apoio, carinho e amizade em todos os momentos e pelos ensinamentos e oportunidades, a mim proporcionados, em vivenciar experiências acadêmicas e científicas enriquecedoras.

À Gilson Lima e Romildo Morant, pela gentileza em terem aceitado avaliar e contribuir a este trabalho e por todas as considerações e sugestões, assim como a generosidade em compartilhar conhecimento.

À Dra Patrícia Karla Batista (Laboratório de Saneamento Ambiental – UFRPE), por sua parceria e por todas as orientações e contribuições que foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa, principalmente por seus ensinamentos e aprendizados compartilhados em laboratório. Assim, estendo meus agradecimentos aos demais parceiros pela gentileza em disponibilizarem espaço e tempo em seus ambientes de trabalho para nos receber e auxiliar na execução de etapas importantes deste estudo.

Aos amigos da cidade de Caruaru, especialmente à Jacqueline Macêdo, Joaúdio de Melo e Suelen, que sempre estiveram disponíveis para compartilhar informações relevantes e necessárias à realização desta pesquisa. Agradeço o acolhimento, o carinho e todas as orientações durante a realização do estudo de campo.

Aos amigos e familiares por todo o suporte necessário à realização deste trabalho e dessa etapa. Em nome da minha mãe Cledilza, que sempre me incentivou ao longo de minha jornada acadêmica, agradeço aos demais familiares. A todos os amigos e irmãos de vida, em especial aos queridos Amadeu, Andson, Juliana, Joana Darque e Ilany, agradeço por sempre estarem ao meu lado, por serem o suporte necessário em diversos momentos e por contribuírem de alguma forma à concretização do Curso de Mestrado.

Aos colegas e amigos que compartilharam diversos momentos ao longo dessa jornada. À Iara Lícia Pereira e Nathália Souza por todo o suporte e por toda a partilha de aprendizado e de vida desde o início do Curso de Mestrado. Gratidão à David Washington Silva e Wilson Aragão Júnior, colegas de residência e, hoje, queridos amigos, pela forma com que me receberam, pelo companheirismo, por todo incentivo, pela paciência e pelos momentos de

alegria. De forma especial, agradeço também à Symone Falcão pela gentileza em ter aberto as portas de sua casa para me receber.

Aos Professores do PPEAMB – UFRPE, em especial, à Valmir Arruda e Vicente de Paulo, pela generosidade e pelas contribuições e aprendizados compartilhados durante a realização do Estágio Docência, e à Soraya El-Deir pelos ensinamentos e pela oportunidade de integrar o Grupo de Pesquisa Gestão Ambiental em Pernambuco (GAMPE).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que, em parceria com a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), proporcionou o auxílio financeiro para a realização deste estudo.

RESUMO

O Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco se destaca por sua participação no mercado mundial de beneficiamento de peças de vestuário realizado em lavanderias industriais localizadas no Arranjo Produtivo Local de Confeções. Apesar disso, esse setor ainda enfrenta desafios significativos em relação ao consumo de água e à geração de efluentes em seus processos. As lavanderias têxteis são responsáveis por um alto consumo de água e pela produção de efluentes contaminados que apresentam um potencial de comprometimento da qualidade ambiental na região. Nesse sentido, medidas adequadas para o gerenciamento da água e estratégias para o controle da poluição proveniente das águas residuais geradas têm se tornado necessárias para promover uma gestão eficiente de águas e efluentes no beneficiamento na indústria têxtil, além de favorecer a sustentabilidade ambiental nos processos. Diante disso, esse estudo objetivou avaliar alternativas para a otimização da gestão de águas e efluentes em lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, a partir de um estudo de caso no município de Caruaru-PE. Para isso, a pesquisa foi desenvolvida a partir de ações que englobaram a avaliação do uso da água e da geração de efluentes na lavanderia estudada, a caracterização das águas utilizadas nas lavagens e dos efluentes gerados nos processos produtivos, a investigação de alternativas e possibilidades de melhorias para o tratamento físico-químico dos efluentes, além da análise de cenários para a implementação de práticas de reúso de águas no processo produtivo na lavanderia. Por meio dos resultados obtidos no estudo, verificou-se a necessidade de considerar medidas para o consumo consciente de água nas lavanderias e a busca por processos mais eficientes para reduzir o consumo e minimizar os impactos ambientais relacionados à utilização desse recurso. A caracterização dos efluentes gerados no processo evidenciou características relacionadas à presença de compostos químicos, alta demanda química de oxigênio, cor intensa, condutividade elétrica elevada, alcalinidade, dureza e presença de sólidos e metais. Em relação ao tratamento de efluentes realizado na lavanderia, verificou-se que há oportunidades de melhorias em relação ao sistema de tratamento, na busca pelo cumprimento das exigências regulamentadoras e pela qualidade ambiental. Além disso, identificou-se que existem possibilidades que favorecem a implementação do reúso de águas ao longo do processo produtivo na lavanderia, incluindo a utilização de águas residuais geradas em processos intermediários de lavagem, ao mesmo tempo em que destaca-se a necessidade de análises mais aprofundadas para a seleção de tratamentos adicionais e estudos de modificações na coleta e no descarte de efluentes ao longo dos processos de lavagem. Diante disso, o estudo evidenciou a importância da redução de impactos ambientais nas atividades de beneficiamento têxtil no contexto local das lavanderias do Polo Têxtil de Pernambuco e da implantação de uma produção com perspectivas de viabilidade técnica e ambiental.

Palavras-chave: indústria têxtil; beneficiamento têxtil; efluente têxtil; tratamento de efluente têxtil; reúso de águas.

ABSTRACT

The Textile Center of Agreste de Pernambuco stands out for its participation in the global market for garment processing carried out in industrial laundries located in the Local Productive Arrangement of Clothing. However, this sector still faces significant challenges regarding water consumption and the generation of effluents in its processes. Textile laundries are responsible for high water consumption and the production of contaminated effluents that have the potential to compromise environmental quality in the region. In this regard, appropriate measures for water management and strategies for controlling pollution from generated wastewater have become necessary to promote efficient water and effluent management in textile processing, as well as to favor environmental sustainability in the processes. Therefore, this study aimed to evaluate alternatives for optimizing water and effluent management in laundries of the Textile Polo of Agreste de Pernambuco, based on a case study in the municipality of Caruaru-PE. To achieve this, the research was developed through actions that included evaluating water usage and effluent generation in the studied laundry, characterizing the waters used in washing and the effluents generated in production processes, investigating alternatives and possibilities for physicochemical treatment improvements of the effluents, and analyzing scenarios for implementing water reuse practices in the laundry's production process. Based on the results obtained in the study, the need to consider measures for conscious water consumption in laundries and the search for more efficient processes to reduce consumption and minimize environmental impacts related to the use of this resource were identified. The characterization of the effluents generated in the process revealed characteristics related to the presence of chemical compounds, high chemical oxygen demand, intense color, high electrical conductivity, alkalinity, hardness, and the presence of solids and metals. Regarding the effluent treatment carried out in the laundry, opportunities for improvements were identified concerning the treatment system in order to comply with regulatory requirements and achieve environmental quality. Additionally, possibilities favoring the implementation of water reuse throughout the laundry's production process were identified, including the use of wastewater generated in intermediate washing processes. However, it is important to note the need for further analysis for the selection of additional treatments and studies on modifications in effluent collection and transportation throughout the washing processes. Thus, the study highlighted the importance of reducing environmental impacts in textile processing activities in the local context of laundries in the Textile Center of Pernambuco and the implementation of a production with prospects of technical and environmental feasibility.

Keywords: textile industry; textile finishing; textile wastewater; textile effluent treatment; water reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil da cadeia agroindustrial têxtil	17
Figura 2 – Fluxograma geral de processos em lavanderias Polo Têxtil – PE	19
Figura 3 – Aspecto visual de peças produzidas sob diferentes tipos de lavagem	19
Figura 4 – Tratamento integrado para águas residuais de lavanderias	27
Figura 5 – Procedimentos metodológicos de pesquisa, coleta e análise dos dados.....	34
Figura 6 – Critérios e estratégias de pesquisa e coleta dos dados e seleção dos estudos	34
Figura 7 – Crescimento da produção científica entre 2010 e 2021	37
Figura 8 – Distribuição das produções em relação aos países que mais publicaram	44
Figura 9 – Rede geral de coautoria entre autores	46
Figura 10 – Rede de coautoria entre autores – maior conjunto de itens conectados.....	47
Figura 11 – Rede de coautoria entre países	47
Figura 12 – Rede de coocorrência de palavras-chave	49
Figura 13 – Dimensões, técnicas e ações baseadas na P+L e abordadas nos estudos.....	51
Figura 14 – Localização dos municípios do APL de Confecções do Agreste - PE.....	58
Figura 15 – Fluxograma geral dos processos realizados na lavanderia estudada.....	67
Figura 16 – Recepção e conferências das peças	67
Figura 17 – Processos alternativos	68
Figura 18 – Máquinas de centrifugação e secagem.....	69
Figura 19 – Passadoria e expedição final das peças	69
Figura 20 – Fluxograma de entradas e saídas associadas ao processo produtivo	70
Figura 21 – Fluxograma de entradas e saídas por processo/etapa/atividade	71
Figura 22 – Geração de efluentes têxteis.....	71
Figura 23 – Queima de madeira e geração de cinzas	72
Figura 24 – Resíduos de fiapos e fibras de tecidos.....	73
Figura 25 – Aspectos do lodo têxtil gerado no tratamento de efluentes.....	74
Figura 26 – Armazenamento de produtos químicos.....	75
Figura 27 – Fluxograma de entradas e saídas de águas, efluentes e resíduos no processo de lavagem “Cristal”	77
Figura 28 – Esquema do tratamento de efluentes na ETE da lavanderia estudada	78
Figura 29 – Eficiência do tratamento de efluentes realizado na ETE da lavanderia.....	83
Figura 30 – Eficiências dos tratamentos de coagulação utilizando sulfato de alumínio e PAC	91

Figura 31 – Eficiências dos tratamentos de coagulação combinada à adsorção com Carvão Ativado (CA).....	93
Figura 32 – Cenário 1 para o reúso de águas.....	97
Figura 33 – Cenário 2 para o reúso de águas.....	98
Figura 34 – Cenário 3 para o reúso de águas.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas do processo de lavagens realizado nas lavanderias.....	20
Quadro 2 – Critérios de categorização dos artigos na Revisão Sistemática.....	50
Quadro 3 – Tecnologias e processos de tratamento de efluentes têxteis para reúso de águas .	53
Quadro 4 – Esquema geral das atividades desenvolvidas na pesquisa.....	57
Quadro 5 – Descrição dos pontos de amostragem utilizados na coleta de campo	61
Quadro 6 – Descrição dos parâmetros e métodos de caracterização das amostras	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de água no beneficiamento de jeans nas lavanderias de Caruaru-PE.....	22
Tabela 2 – Características de efluentes brutos de lavanderias industriais têxteis brasileiras ...	23
Tabela 3 – Estudos de processos integrados para o tratamento de efluentes têxteis	27
Tabela 4 – Lista das publicações mais citadas	38
Tabela 5 – Lista dos periódicos com o maior número de publicações	40
Tabela 6 – Lista dos autores com mais publicações	42
Tabela 7 – Arranjo experimental dos testes de tratabilidade dos efluentes.....	65
Tabela 8 – Parâmetros operacionais do ensaio no Jar-Test	65
Tabela 9 – Consumo de água em processos de lavagem.....	76
Tabela 10 – Caracterização das águas e efluentes da lavanderia estudada	80
Tabela 11 – Caracterização de metais presentes no efluente têxtil da lavanderia.....	85
Tabela 12 – Caracterização físico-química dos efluentes de processo gerados na lavanderia.	86
Tabela 13 – Caracterização de metais presentes no lodo têxtil da lavanderia.....	88
Tabela 14 – Características físico-químicas e aspecto visual do efluente têxtil bruto	89
Tabela 15 – Resultados do tratamento de coagulação com sulfato de alumínio + adsorção....	92
Tabela 16 – Resultados do tratamento de coagulação com PAC + adsorção.....	95
Tabela 17 – Resultados referentes às melhores dosagens por parâmetro.....	96

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Geral	14
1.2.2 Específicos	15
1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL.....	16
2.1.1 Processo de beneficiamento e as lavanderias têxteis no APL de Pernambuco	18
2.2 CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA TÊXTIL ...	20
2.2.1 Características	21
2.2.2 Aspectos e impactos ambientais associados aos efluentes têxteis.....	23
2.2.3 Tratamento de efluentes têxteis.....	24
2.3 SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA TÊXTIL	28
2.3.1 Aspectos regulatórios que afetam a sustentabilidade na indústria têxtil	28
2.3.2 Tendências, desafios e oportunidades.....	30
CAPÍTULO 3 – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE ASPECTOS ASSOCIADOS À PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA TÊXTIL	33
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	33
3.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	33
3.2.1 Estratégias de pesquisa e coleta dos dados.....	34
3.2.2 Análise dos dados.....	35
3.3 EVOLUÇÃO DO ESTADO DA ARTE	36
3.4 ANÁLISE MÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA	37
3.5 MAPEAMENTO CIENTÍFICO.....	45
3.6 TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES A PARTIR DO ESTADO DA ARTE	50
3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODOS	57
4.1 ÁREA DE ESTUDO E LÓCUS DA PESQUISA.....	57
4.2 FONTES DE GERAÇÃO DE CORRENTES DE EFLUENTES	59
4.2.1 Análise e caracterização do processo produtivo	59

4.2.2 Identificação de efluentes, resíduos sólidos e emissões associados à produção.....	59
4.2.3 Quantificação do uso da água e da geração de efluentes	60
4.3 CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS, EFLUENTES E RESÍDUOS SÓLIDOS	60
4.3.1 Avaliação do tratamento de efluentes.....	62
4.3.2 Análise do lodo têxtil gerado no tratamento de efluentes	63
4.4 TESTES DE OTIMIZAÇÃO NA TRATABILIDADE DE EFLUENTES	63
4.4.1 Efluente têxtil	63
4.4.2 Teste de coagulação/floculação e coagulação/floculação combinada à adsorção	64
4.4.3 Análise dos dados e avaliação das eficiências.....	65
4.5 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS PARA O REÚSO DE ÁGUAS	66
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.1 AVALIAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DA GERAÇÃO DE EFLUENTES	67
5.1.1 Análise e caracterização do processo produtivo	67
5.1.2 Principais fontes e causas de geração de efluentes, resíduos sólidos e emissões	69
5.1.3 Consumo de água e geração de efluentes e resíduos associados.....	75
5.2 CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS, EFLUENTES E RESÍDUOS SÓLIDOS	79
5.2.1 Caracterização da água bruta e dos efluentes bruto e tratado	79
5.2.2 Caracterização dos efluentes de processo.....	85
5.3 POSSIBILIDADES PARA A TRATABILIDADE DOS EFLUENTES	88
5.3.1 Características do efluente têxtil bruto	88
5.3.2 Cenários de tratamento utilizando coagulação.....	89
5.3.3 Cenários de tratamento utilizando coagulação combinada à adsorção	92
5.4 CENÁRIOS PARA O REÚSO DE ÁGUAS	96
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO GERAL	100
REFERÊNCIAS	102

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A indústria têxtil caracteriza-se por ser um setor que ocupa uma posição importante no mercado mundial. Apesar disso, a esfera têxtil é responsável por uma demanda de grandes volumes de água em seus processos produtivos, além de gerar uma grande quantidade de efluentes. Estima-se que, a cada 1 kg de têxteis, são utilizados cerca de 0,2 m³ de água. Nesse contexto, analisa-se que a gestão da produção, o consumo de água e a geração e tratamento de efluentes estão entre as sérias preocupações da atual indústria têxtil (Methneni *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2021; Tayyab *et al.*, 2021).

No âmbito do Arranjo Produtivo Local (APL) de Confecções do Agreste de Pernambuco, caracterizado por sua considerável participação na produção de *jeans* no país, as lavanderias industriais que são utilizadas para o processo de beneficiamento das peças são responsáveis por significantes impactos ambientais. Estes impactos estão, em grande parte, relacionados à geração e à disposição final de efluentes, que apresentam um potencial de comprometimento da qualidade ambiental na região (Silva Filho *et al.*, 2021a).

Nesse contexto, é importante considerar que efluentes têxteis contêm altos níveis de poluentes de diferentes categorias. A composição química destes resíduos caracteriza-se pela presença de amins, corantes, gomas, graxas, álcoois, ácido acético, sabões e detergentes, e compostos inorgânicos, como hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto de sódio, além de microrganismos (Queiroz *et al.*, 2019; Raj *et al.*, 2021). Estes componentes favorecem características como altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT), assim como baixos níveis de Oxigênio Dissolvido (OD) no efluente gerado, além de imprimirem ao resíduo uma cor tipicamente intensa. Ademais, os efluentes têxteis podem ser caracterizados como substâncias tóxicas e cancerígenas, apresentando resistência à biodegradação e cor residual. Sendo assim, as principais consequências desses fatores são pertinentes aos possíveis impactos poluidores advindos da descarga direta dos efluentes sem tratamento (Khan; Anas; Malik, 2019; Garcia; Rosa; Borrely, 2020; Methneni *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021).

Além disso, é importante considerar que, devido à composição heterogênea dos efluentes têxteis, um processo de tratamento robusto e eficiente também é necessário para resolver as problemáticas relacionadas (Samuchiwal; Gola; Malik, 2021). Métodos integrados e técnicas avançadas tornam-se necessárias na perspectiva de contribuir para a redução dos

parâmetros característicos destes efluentes, buscando tornar a qualidade da água conveniente para outros fins e/ou atender às perspectivas de destinação final (Chun Ho *et al.*, 2021; Shrivastava; Singh, 2021).

As técnicas relacionadas ao gerenciamento de água podem, efetivamente, diminuir a demanda necessária, além de contribuir para a redução de custos e satisfazer as regulamentações ambientais e as metas de sustentabilidade (Haque; Nahar; Sayem, 2021). Com isso, algumas estratégias têm sido adotadas nos últimos anos na indústria têxtil, com o objetivo de contribuir, principalmente, para o controle da poluição proveniente dos efluentes que são gerados nos processos produtivos. Diante disso, melhorias no processo de uso atual das águas e a gestão eficiente de efluentes são ações importantes na perspectiva de solucionar a problemática relacionada aos impactos da indústria têxtil sobre o meio ambiente (Queiroz *et al.*, 2019; Oliveira Neto *et al.*, 2021).

Sendo assim, pode-se enfatizar que medidas adequadas de tratamento de efluentes têxteis também são importantes e necessárias para atender aos parâmetros da sustentabilidade ambiental e promover uma gestão eficiente de águas e efluentes nos processos de beneficiamento na indústria têxtil, sobretudo considerando modelos de gestão sustentáveis e tecnologias limpas. Para isso, acredita-se que soluções devem ser pensadas, analisadas e incorporadas, considerando as possibilidades de redução da geração, do reúso e do reaproveitamento racional de diferentes correntes de águas e efluentes ao longo da linha de produção.

Nesse contexto, este estudo foi desenvolvido com o intuito de apresentar alternativas que contribuam para a gestão eficiente de águas e efluentes nos processos de beneficiamento de têxteis, visando o atendimento aos aspectos normativos legais e melhorias no desempenho ambiental das lavanderias inseridas no APL de confecções do Estado de Pernambuco. O propósito é incluir ferramentas como meios de minimização de impactos, não apenas no processo produtivo, como também no tratamento de efluentes e no uso de águas, através da definição de medidas que possibilitem um sistema operacional otimizado e eficaz.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Avaliar alternativas para otimizar a gestão de águas e efluentes em lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, a partir de um estudo de caso no município de Caruaru.

1.2.2 Específicos

- Avaliar o uso da água e a geração de correntes de efluentes no processo de beneficiamento em uma lavanderia localizada no município de Caruaru;
- Analisar as características qualitativas e quantitativas dos efluentes gerados na produção geral (fim de tubo), assim como dos efluentes tratados em estação de tratamento na lavanderia;
- Avaliar possibilidades de melhorias e otimização no tratamento de efluentes realizado na lavanderia;
- Analisar cenários que indiquem potencialidades para a implementação de práticas de reúso de águas no processo produtivo na lavanderia.

1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Além da presente Introdução, este trabalho de Dissertação está estruturado em mais cinco capítulos, sendo organizado da seguinte forma:

- O **Capítulo 2** apresenta a Fundamentação Teórica, que serviu de base para o entendimento dos conceitos e teorias mais relevantes associados à temática do estudo;
- O **Capítulo 3** destaca um levantamento bibliométrico e sistemático em relação a fatores que têm contribuído para o desenvolvimento da sustentabilidade na indústria têxtil, incluindo os aspectos relacionados à ecoeficiência, à produção mais limpa e ao reúso de águas;
- O **Capítulo 4** evidencia os aspectos metodológicos do estudo, apresentando as etapas realizadas para o alcance dos objetivos, assim como os materiais e métodos utilizados durante a realização da pesquisa;
- O **Capítulo 5** apresenta os principais resultados obtidos no estudo, assim como uma discussão em relação aos aspectos evidenciados nesta pesquisa;
- O **Capítulo 6** enfatiza as principais conclusões e considerações finais acerca do estudo.

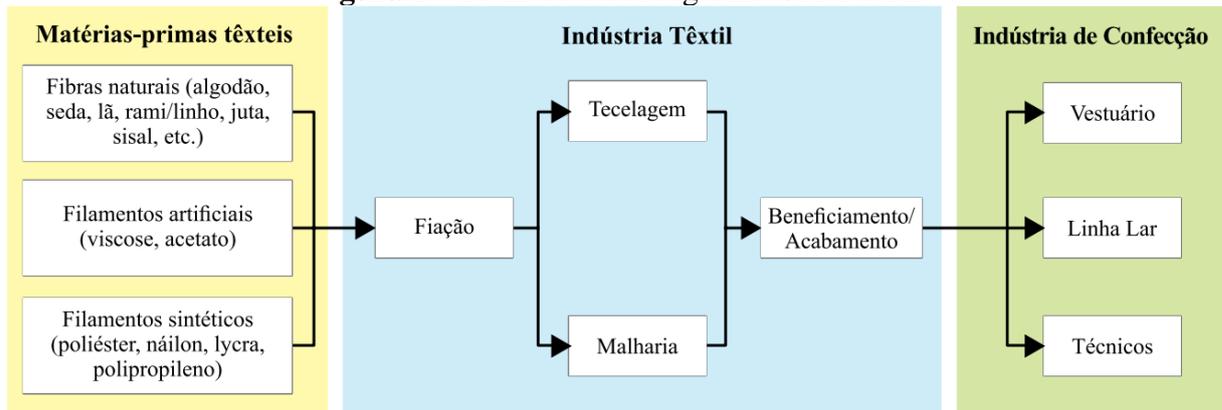
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil é uma das maiores e mais antigas do mundo. Devido à sua expansão mundial, a produção de têxteis foi transferida para áreas onde os custos de materiais e de mão de obra eram baixos. Com isso, este setor se tornou um dos segmentos mais importantes no mercado mundial, sendo ainda um ramo industrial alvo de diversas medidas contínuas que são desenvolvidas e aplicadas com o objetivo de alavancar a produção (Punzi, 2015).

O Brasil se destaca como o país que apresenta a maior e mais completa cadeia do setor têxtil no Ocidente, tornando-se eminente por fatores como ser responsável por processos que englobam desde a produção de fibras até o comércio de confecções, desfiles de moda e varejo. Dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções (ABIT, 2022) destacam que o faturamento da cadeia têxtil e de confecção no Brasil, em 2020, foi de R\$ 161 bilhões, com investimentos no setor de mais de R\$ 4,5 bilhões. Ainda de acordo com a ABIT, a produção média de confecções, no ano de 2019, foi de 7,93 bilhões de peças e a produção média têxtil foi igual a 1,91 milhões de toneladas. Os dados destacam ainda um quantitativo de aproximadamente 25 mil empresas formais em todo o Brasil.

A indústria têxtil caracteriza-se por apresentar uma cadeia produtiva que é bastante variada com processos onde o resultado final de cada etapa constitui o insumo principal das outras. O setor é parte da cadeia agroindustrial têxtil (Figura 1), que engloba desde a produção das fibras têxteis até o produto acabado e confeccionado, incluindo a distribuição e a comercialização. Nesse sentido, a indústria têxtil propriamente dita envolve os processos relacionados às etapas de fiação, tecelagem e malharia e beneficiamento/acabamento (Mendes Júnior, 2019).

Figura 1 – Perfil da cadeia agroindustrial têxtil

Fonte: Mendes Júnior (2019)

A etapa de fiação consiste no processo de obtenção de fios por meio da transformação de fibras têxteis, que podem ser naturais (algodão, linho, lã etc) ou químicas. Vale ressaltar que as fibras têxteis químicas podem ser sintéticas, como nylon, poliéster e acrílico, ou artificiais, como viscose e acetato (Lopo; Lanzer, 2017; Milnitz; Luna, 2017).

Na tecelagem ocorre o processamento do fio, que se transforma em tecido. Nesse processo, os fios são entrelaçados longitudinalmente e transversalmente em ângulos retos para formar a trama que dá origem ao tecido plano. Esse processo, aparentemente simples, exige, no entanto, preparação prévia do fio, como o urdimento e a engomagem (Milnitz; Luna, 2017). A tecelagem constitui, juntamente com a malharia, o processo de tecimento. Enquanto a tecelagem utiliza processos para a obtenção do tecido plano, a malharia possibilita a aquisição de malhas, através da utilização de equipamentos circulares ou retilíneos. Porém, tanto na tecelagem quanto na malharia, ocorre a preparação do material através do urdimento e da engomagem. O primeiro processo consiste em transferir os fios para o rolete do tear e o segundo em aplicar película de goma para tornar o fio mais resistente para a etapa de tecimento (Viana *et al.*, 2018).

Após a etapa de tecimento, o tecido/malha é submetido ao processo de beneficiamento, também chamado de enobrecimento. Esse processo consiste na aplicação de tratamentos como limpeza, cozimento, alvejamento, tingimento e estamparia, além de aplicação de resinas, lavagens especiais, dentre outros. Esta etapa é considerada uma das mais importantes para o setor têxtil, pois impacta diretamente na qualidade, variedade e conteúdo do que é produzido, visto que agrega valor e melhora a qualidade do produto final (Reis, 2017).

Os corantes utilizados no processo de tingimento no setor têxtil são provenientes de misturas heterogêneas entre corantes inativados e aditivos que favorecem a fixação destas substâncias às fibras. Estas substâncias são classificadas pelo tipo químico e pelo método de

aplicação. Dentre estes, os do tipo “azo” são os mais utilizados, assim como os que geram uma maior preocupação devido aos aspectos que podem estar ligados a problemas de mutagenicidade e carcinogenicidade (Punzi, 2015). Contudo, é necessário considerar as especificidades de todos os tipos, campos e métodos de aplicação dos corantes utilizados no processo produtivo.

No beneficiamento de *jeans*, por exemplo, o corante índigo é o mais utilizado, tornando possível a obtenção do tradicional tecido Denim Índigo Blue, utilizado na produção de peças do segmento *jeanswear* e sendo formado a partir da sarja de algodão submetida a tingimentos. A fixação do corante envolve processos que permitem a redução do tamanho da molécula por meio da alcalinidade e da oxidação, permitindo que ocorra a fixação das moléculas do corante na fibra do tecido (Santos; Carmo, 2020).

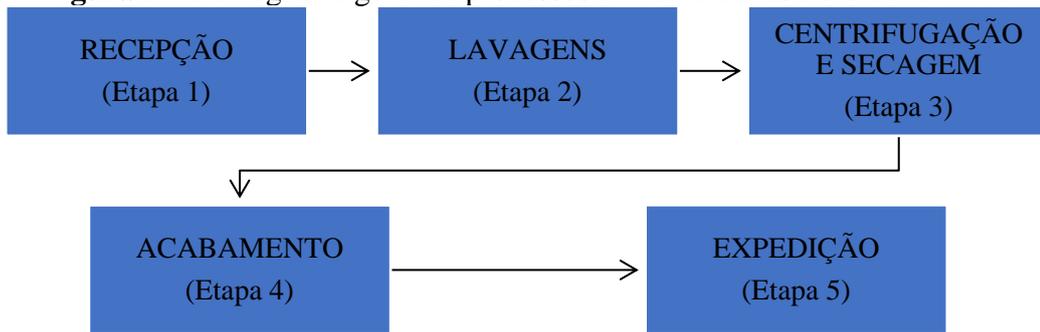
2.1.1 Processo de beneficiamento e as lavanderias têxteis no APL de Pernambuco

Ainda no contexto do beneficiamento e acabamento de peças têxteis, destacam-se as atividades desenvolvidas nas lavanderias industriais no setor. Geralmente, essas unidades são responsáveis por permitirem transformações e acabamentos específicos em peças do segmento *jeanswear*. Este segmento começou a ganhar destaque através da aceitação do jeans e, com isso, começaram a surgir processos de beneficiamento para essas peças. É nas lavanderias que ocorre todo o processamento, através da aplicação de produtos e da utilização de procedimentos físicos e/ou químicos (Lima *et al.*, 2016; Macêdo; Costa, 2016; Luiz; Valentim, 2019).

No APL do Agreste de Pernambuco, as lavanderias são unidades utilizadas para o processo de beneficiamento das peças têxteis. Em geral, estas unidades realizam a fase de processamento úmido do jeans, onde as peças são submetidas a lavagens sucessivas e a processos físicos e/ou químicos que se destinam, principalmente, a conferir aspectos de descoloração e/ou outros efeitos, em grande parte, através da remoção dos corantes fixados (Silva *et al.*, 2016).

As lavanderias possuem etapas de processamento que objetivam atender às especificidades do produto final que é solicitado. Mesmo assim, é possível entender, de modo geral, as principais etapas que geralmente são realizadas nas lavanderias de jeans que se localizam no Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma geral de processos em lavanderias Polo Têxtil – PE



Fonte: Elaborado a partir de Souza (2017) e Lorena *et al.* (2018)

A recepção das peças (Etapa 1) consiste na etapa inicial da produção nas lavanderias, onde são realizadas pesagens, conferência, etiquetagem e a separação do material recebido de acordo com o processo de beneficiamento que vai ser utilizado.

Após a recepção e demais processos iniciais realizados, as peças são encaminhadas para as lavagens (Etapa 2). Entendam-se como processos de lavagem, todo e qualquer tipo de processamento químico e térmico no qual a peça é submetida para que se obtenham as características desejadas.

Os tipos de beneficiamento (lavagem) convencionalmente realizados em lavanderias na realidade do APL do Agreste de Pernambuco envolvem processos de desgaste das peças, por meio de atrito ou enzimas, e processos de clareamento, geralmente utilizando-se produtos como cloro ou permanganato de potássio. Dentre os tipos de lavagem, pode-se citar o cristal (Figura 3a), o delavê (Figura 3b), o destroyed (Figura 3c) e o superstone (Figura 3d).

Figura 3 – Aspecto visual de peças produzidas sob diferentes tipos de lavagem



Fonte: Autor (2023)

Cada tipo de lavagem passa por etapas comuns. Estas etapas, geralmente, são: desengomagem; estonagem; clareamento; neutralização; limpeza (alvejamento); e amaciamento (Quadro 1).

Quadro 1 – Etapas do processo de lavagens realizado nas lavanderias

Etapas	Característica
Desengomagem	Retira o excesso de goma presente no tecido, preparando a peça para as etapas posteriores, além de neutralizar e limpar a fibra para o recebimento dos produtos químicos que serão aplicados
Estonagem	Confere à peça um efeito de desgaste, retirando parcialmente a cor do tecido e deixando o urdume em evidência
Tingimento	São aplicados corantes às peças, que já têm uma coloração, evitando manchas ou variação de cores, fazendo com que a peça apresente, também, aspectos de intensidade, brilho e resistência de cor
Clareamento	Retira a intensidade da cor, mantendo um tom mais claro à peça
Neutralização	Ajusta o pH e neutraliza os processos, principalmente após o desbotamento
Limpeza (alvejamento)	Elimina possíveis colorações indesejadas nas peças, principalmente nas fibras, além de remover outras impurezas ainda existentes e promover um acabamento de brilho
Amaciamento	Enobrece a fibra e torna melhor a qualidade do tecido ao toque

Fonte: Adaptado de Fernandes (2010), Macêdo (2016) e Souza (2017)

Os tipos de produtos utilizados nas lavagens, assim como a quantidade de enxágues entre uma etapa e outra, podem variar de acordo com o processo. Vale destacar que algumas etapas podem ser suprimidas do processo de acordo com o tipo de beneficiamento e com as especificidades apresentadas pelos operados das lavagens.

Após serem submetidas aos processos de lavagem, as peças passam pelos processos de centrifugação e secagem (Etapa 3). No acabamento (Etapa 4), realiza-se a eliminação de vincos e dobras das peças através do processo de passadoria utilizando-se o vapor. Na expedição (Etapa 5), ocorre os processos de finalização que engloba a revisão das peças, embalagem e entrega (Souza, 2017).

2.2 CONSUMO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Por ser caracterizada como um dos principais setores que mais consomem água em seus processos, a indústria têxtil, conseqüentemente, torna-se responsável pela geração de grandes

quantidades de águas residuais altamente poluídas. Nesse sentido, o tratamento ineficiente e a destinação inadequada dos efluentes pode contribuir para a contaminação do meio ambiente.

2.2.1 Características

A indústria têxtil é reconhecida como um setor hidroatensivo devido ao fato de que este ramo elenca como um dos três maiores usuários de recursos de água doce do mundo. De fato, os processos têxteis dependem inteiramente do uso da água e o volume utilizado varia de acordo com as fibras, as máquinas e os equipamentos, assim como as operações que necessitam do recurso. Dados permitem estimar que cerca de 28 milhões de toneladas de têxteis passam por processos de tingimento todos os anos, fazendo com que ocorra um consumo de mais de 5 bilhões de m³ de água doce (Oliveira *et al.*, 2021).

Os efluentes têxteis são gerados a partir da combinação das águas residuais provenientes de diferentes etapas do processo produtivo. Grandes quantidades de água de alta qualidade são necessárias para o processamento úmido de tecidos. Dependendo da tonalidade, da técnica e dos produtos químicos usados em um determinado processo têxtil, o consumo estimado vai de 50 a 240 litros de água por quilograma de tecido acabado (Punzi, 2015).

Nas lavanderias têxteis, a quantidade de água que é utilizada nos processos varia de acordo, principalmente, com o tipo de beneficiamento realizado. Silva Filho *et al.* (2021a) realizaram um levantamento do consumo de água por processo de beneficiamento em lavanderias do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, especificamente localizadas no município de Caruaru (Tabela 1). De maneira geral, os autores supracitados observaram que o volume total de água que é mensalmente consumido pelas lavanderias nos processos de beneficiamento no município, resultou em valores aproximados a 178.000 m³, tendo ainda um consumo médio de mais de 126 litros de água por quilograma de jeans beneficiado.

Em seu estudo, Guimarães *et al.* (2018) evidenciam o consumo mensal de água em lavanderias de outros municípios que compõem o Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco. Mediante o levantamento realizado pelos autores, além de Caruaru, destacou-se Toritama, com um consumo de água mensal de aproximadamente 180.000 m³ utilizados nos processos.

Tabela 1 – Consumo de água no beneficiamento de jeans nas lavanderias de Caruaru-PE

Processo de beneficiamento	Consumo de água (L/kg de jeans)	Consumo mensal de água (m³)
Tingimento com estonagem	167	58.617
Tingimento claro com marmorização	154	32.432,4
Destroyer com estonagem	114	8.002,8
Estonagem	89	31.239
Desengomagem	76	10.670,4
Tingimento	127	26.746,2
Outros	145,4	10.207,08

Fonte: Adaptado de Silva Filho *et al.* (2021a)

Em relação ao conteúdo dos efluentes têxteis gerados na indústria têxtil, verifica-se que pode ocorrer uma variação, mas as principais características são: alto conteúdo orgânico; presença de corantes e outros produtos químicos tóxicos; compostos inorgânicos, como hidróxido de sódio (NaOH), hipoclorito de sódio (NaClO), sulfureto de sódio (Na₂S), ácido clorídrico (HCl) e cloreto de sódio (NaCl); e solventes e detergentes. Além disso, os efluentes têxteis costumam ter alta temperatura e pH entre 4 e 12 (Punzi, 2015; Castro *et al.*, 2019). De acordo com Zhang *et al.* (2021), dentre os poluentes químicos constituintes, destacam-se os surfactantes (50-500 mg/L), cloretos (200-6000 mg/L), sais (400-7000 mg/L), corantes (10-7000 mg/L), fosfato (< 10 mg/L), sólidos dissolvidos (1500-12000 mg/L), sólidos suspensos (15-8000 mg/L) e sólidos totais (6000-7000 mg/L).

A água residual proveniente do processo de tingimento de produtos têxteis tem aspectos de biodegradabilidade limitada, principalmente devido à perda de até 50% do corante que é aplicado junto com outros produtos químicos auxiliares, como o cloreto de sódio (Punzi, 2015). Além dos corantes, outros produtos, como solventes e surfactantes, influenciam nos aspectos qualitativos dos efluentes têxteis fazendo com que estes apresentem aspectos heterogêneos e uma variação em relação aos parâmetros (Baptistella, 2018). Isso pode ser observado nas características de efluentes brutos gerados em diferentes lavanderias têxteis no Brasil (Tabela 2).

Tabela 2 – Características de efluentes brutos de lavanderias industriais têxteis brasileiras

Parâmetros	Valores médios			
	(a)	(b)	(c)	(d)
pH	7,6	7,48	6,71 – 8,85	-
Turbidez (NTU)	158,98	174,5	141,83	136,77 – 490,33
DBO (mg/L)	363,72	100,87	-	-
DQO (mg/L)	1364,65	529,16	675,67	492,10 – 1491,49
Alcalinidade (mg/L)	-	133,33	398,47	-
Cor aparente (Pt-Co mg/L)	1291,29	1681,48	2288,55	1823,33 – 8308,33
Cor verdadeira (Pt-Co mg/L)	-	-	307,17	362,67 – 3180,67
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	2370,68	597,23	4,18	-
Sólidos Totais (mg/L)	3132,08	-	-	-
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	214,54	-	2,76	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	4,07	-	14,74	-
Cloreto (mg/L)	1650,45	-	-	-
Sulfatos (mg/L)	657,46	-	518,69	-
Salinidade (‰)	-	-	0,6 – 5,9	0,67 – 3,87

Notas: ^(a) Ramos *et al.* (2020); ^(b) levantamento realizado pelo autor com base em: Halasz e Tosato Jr. (2012); Rocha, Lima e Santos (2016); Souza *et al.* (2016); Costa *et al.* (2018), Ribeiro e Tavares (2018); Santos (2018); Dotto *et al.* (2019); Huang *et al.* (2019); Silva *et al.* (2019); Ribeiro, Ferrari e Tavares (2020); e Camilo *et al.* (2021); ^(c) Marcelino (2013); ^(d) Silva Filho *et al.* (2021a)

2.2.2 Aspectos e impactos ambientais associados aos efluentes têxteis

Os processos de produção de têxteis, especialmente os tratamentos úmidos e os processos de acabamento, são responsáveis pelo alto consumo de água no setor. Como resultado desses vários processos, quantidades consideráveis de água poluída são liberadas. Nesse contexto, as principais preocupações relacionadas às questões ambientais na indústria têxtil referem-se à quantidade de efluentes que é gerada e à quantidade de carga química presente nestes resíduos provenientes dos produtos que são utilizados em todas as etapas do processamento (Vineta *et al.*, 2014; Castro *et al.*, 2019).

Os grandes volumes de efluentes têxteis, juntamente com as características heterogêneas e complexas destes resíduos, desencadeiam sérias preocupações devido aos possíveis impactos provenientes da descarga das águas residuais geradas na indústria sem tratamento adequado e como resíduo, gerando problemas de contaminação (Castro *et al.*, 2019). O lançamento indevido de efluentes têxteis em corpos hídricos pode contribuir para a diminuição do conteúdo de oxigênio, levando a um comprometimento da sobrevivência nos ambientes aquáticos (Punzi, 2015). Além disso, pode-se salientar o impacto estético que pode ser causado, visto que estas águas residuais apresentam uma coloração forte, podendo, ainda, contribuir para a eutrofização dos corpos receptores. Cabe destacar, também, o potencial tóxico e genotóxico do efluente têxtil devido aos corantes e outros produtos que são utilizados nos processos (Castro *et al.*, 2019).

Outro aspecto importante diz respeito ao despejo de efluentes têxteis no solo, uma vez que a degradação decorrente do contato destes resíduos com este meio pode contribuir para impactos que afetem a qualidade não só do solo, como também da água subterrânea e da vegetação nas áreas circunvizinhas contaminadas por elas. Vale destacar, ainda, que a toxicidade que é introduzida pelos efluentes têxteis pode persistir por anos, gerando efeitos adversos que podem ser percebidos por um longo período de tempo (Malik, 2017).

A presença de efluentes têxteis no solo pode modificar e impactar diversas propriedades e características destes ambientes, como temperatura, pH, condutividade elétrica e carbono orgânico. Por terem temperaturas que são caracteristicamente elevadas, os efluentes têxteis contribuem para a ocorrência de reações no solo que podem modificar esta característica. Em relação ao pH, solos contaminados por águas residuais da indústria têxtil, podem adquirir características alcalinas devido aos produtos alcalinizantes que são utilizados para a fixação dos corantes e, com isso, apresentar valores elevados de alcalinidade. Diante da matéria iônica dos efluentes têxteis, solos que são contaminados por esse tipo de resíduo tendem a apresentar valores elevados de condutividade elétrica quando comparados a solos naturais de vegetação, da mesma forma como o que ocorre com a quantidade de carbono orgânico (Malik, 2017).

Castro *et al.* (2019) destacam que muitas vezes as análises de qualidade dos efluentes têxteis, que são realizadas antes da descarga destes nos ecossistemas aquáticos, ocorre por meio métodos que podem não fornecer dados suficientes sobre os efeitos que os contaminantes podem causar nos organismos. Para os autores supracitados, torna-se importante uma avaliação química que seja realizada de forma detalhada, assim como é necessário buscar cumprir os aspectos que são preconizados pela legislação ambiental estadual e nacional de modo a atender os limites legais para o lançamento dos efluentes têxteis. Pode-se destacar, nesse contexto, os parâmetros estabelecidos a nível nacional pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio das Resoluções nº 357/2005 e nº 430/2011, e os definidos pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) através das Notas Técnicas N 2001, N 2002 e N 2003.

2.2.3 Tratamento de efluentes têxteis

O tratamento de efluentes têxteis não é realizado por meio de um procedimento geral e nem através de tecnologias simples devido à complexidade e variabilidade dos resíduos. Estes fatores podem influenciar na remoção dos contaminantes de maneira satisfatória, principalmente quando se considera aspectos de toxicidade (Castro *et al.*, 2019).

As modalidades de tratamento de efluentes têxteis envolvem desde princípios físico-químicos até processos avançados de oxidação, além dos processos biológicos. Nos processos físico-químicos, observa-se a remoção de parâmetros como sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, cor e constituintes orgânicos. O tratamento biológico, com processos anaeróbios e aeróbios, permite que os fungos, as bactérias e as algas atuem na redução, principalmente, de DBO e de cor. Por sua vez, os processos de oxidação avançada, como oxidação fotocatalítica, oxidação de Fenton e ozonização, são caracterizados por reduzirem efetivamente a cor e os compostos orgânicos, que não podem ser removidos por métodos físicos e biológicos (Meiyazhagan *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021).

Os tratamentos físico-químicos, principalmente, os baseados nos processos de coagulação, floculação e decantação, têm sido aplicados no tratamento de efluentes gerados em lavanderias têxteis. Estes processos têm ganhado destaque no tratamento de efluentes têxteis, principalmente pela facilidade na implementação, como no caso da adsorção de corantes, e pela eficiência na remoção destas substâncias, observada na utilização da coagulação-floculação. Porém, é importante ressaltar que, ainda assim, os métodos físico-químicos acabam por apresentar desvantagens em relação à utilização, o que tem favorecido a inserção de processos de oxidação avançados e de processos de membranas (osmose reversa, ultrafiltração, nanofiltração, microfiltração), uma vez que estes se destacam como tecnologias altamente eficazes para a remoção de poluentes tóxicos (Ramirez-Pereda *et al.*, 2020; Camilo *et al.*, 2021).

A maior parte do processo físico-químico de estágio único pode não ser suficiente para tratar as águas residuais de lavanderia. Portanto, a maioria desses processos é integrada para o tratamento desses efluentes. A combinação coagulação-floculação-sedimentação se destaca por apresentar alta eficiência na remoção da matéria orgânica e baixo custo operacional. Dentro do processo de coagulação, várias etapas físico-químicas ocorrem: floculação, sedimentação, adsorção e filtração (Nascimento *et al.*, 2019; Chun Ho *et al.*, 2021).

O tratamento biológico torna-se preferível, muitas vezes, para o tratamento de efluente têxteis porque destaca-se como simples, versátil, de baixo custo e impacto ambiental pequeno. Contudo, alguns fatores, como o fato das durações dos tratamentos serem mais longas do que as dos processos disponíveis, acabam por dificultar a utilização deste processo. Além disso, algumas condições relacionadas aos efluentes e às altas concentrações de alguns tipos de corantes impedem a degradação dessas substâncias por meio das bactérias (Sathishkumar *et al.*, 2019; Ramirez-Pereda *et al.*, 2020).

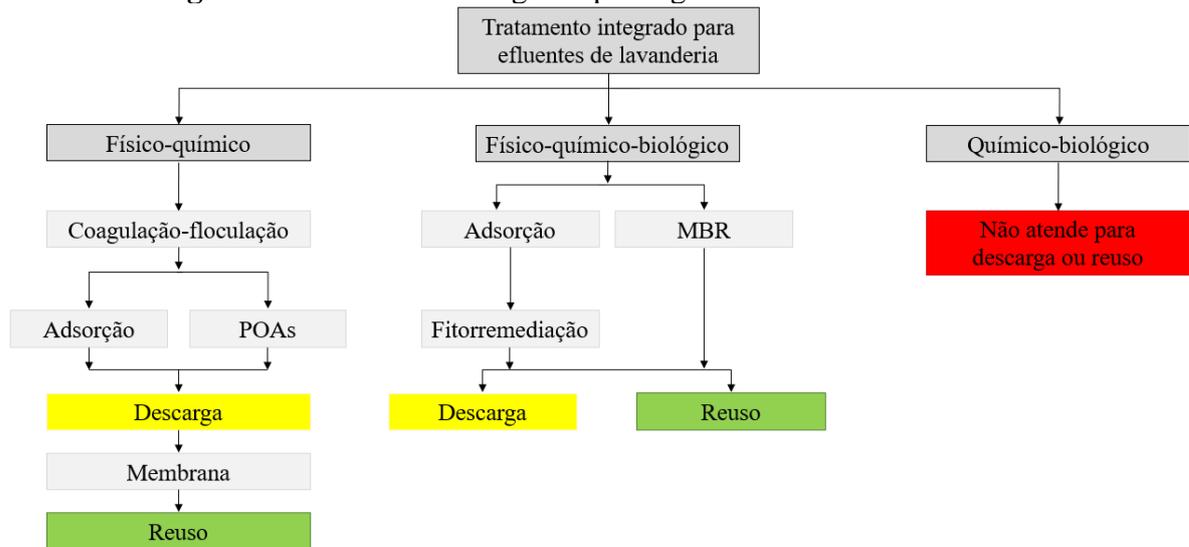
O tratamento aeróbico, por exemplo, apresenta utilidade quando se busca reduzir a cor, a DQO, a DBO e outros contaminantes. Porém, a degradação de corantes industriais nesses

processos é limitada, além do fato relacionado à alta geração de lodo. Vale destacar que muitas vezes após os tratamentos biológicos, aspectos como cor e conteúdo orgânico residual ainda permanecem no efluente tratado. Com isso, alguns métodos de tratamento, como osmose reversa, troca iônica e eletrodialise, acabam por ser utilizados para atender aos padrões de descarga ou reutilizar o efluente tratado (Samuchiwal; Gola; Malik, 2021).

Para Rosa *et al.* (2020), os processos de tratamento de efluentes têxteis que são tradicionalmente utilizados, têm se tornado ineficientes podendo, inclusive, comprometer a capacidade de degradação dos poluentes presentes nas águas residuais e, conseqüentemente, gerar impactos negativos no meio ambiente advindos do lançamento destes resíduos. Segundo os autores supracitados, a utilização de técnicas avançadas acaba por se tornar uma alternativa para o tratamento dos efluentes têxteis, principalmente quando objetiva-se o atendimento aos aspectos normativos ambientais que são preconizados na legislação brasileira. Nesse contexto, Garcia, Rosa e Borrely (2020) avaliam que o tratamento combinado com diferentes métodos surge como uma alternativa bastante eficiente no processo de remoção dos poluentes presentes nos efluentes têxteis, podendo aumentar a eficiência da degradação orgânica.

O tratamento de estágio único é incapaz de produzir águas residuais tratadas de alta qualidade que cumpram os limites permitidos na maioria dos padrões de reutilização de águas residuais. Muitas vezes torna-se necessário a combinação de processos para que sejam obtidas eficiência de remoção de poluentes tanto para a descarga no meio ambiente, quanto para o reúso dos efluentes tratados (Figura 4).

Em relação ao tratamento integrado envolvendo apenas processos físico-químicos, Chun Ho *et al.* (2021) evidenciam que resultados eficientes são obtidos através de sistemas configurados com coagulação-floculação, filtração de areia e adsorção com carvão ativado granular, principalmente quando se busca o descarte seguro dos efluentes no meio ambiente. Segundo os autores, processos de oxidação avançada (AOPs) podem ser utilizados e/ou adicionados para melhorar a eficiência no tratamento. Ainda de acordo com os supracitados, quando o objetivo é reutilizar os efluentes tratados, a adição de processos de membrana pode favorecer o reúso ou reciclagem para a mesma finalidade. Além disso, Chun Ho *et al.* (2021) enfatizam que o efluente de lavanderia pode ser tratado com alta qualidade através da integração de processos físico-químicos biológicos. Em seu estudo, os autores destacam a utilização de métodos como biorreator de membrana (MBR) e adsorção combinada à fitorremediação.

Figura 4 – Tratamento integrado para águas residuais de lavanderias

Fonte: Adaptado de Chun Ho *et al.* (2021)

Nesse sentido, alguns estudos abordam os aspectos apresentados por Chun Ho *et al.* (2021) e evidenciam a eficiência no tratamento de efluentes têxteis utilizando processos integrados (Tabela 3).

Tabela 3 – Estudos de processos integrados para o tratamento de efluentes têxteis

Tratamento	Eficiências de remoção (%)				Referência
	Cor	DBO	DQO	Turbidez	
(Coag/Floc/Sedim) + Microfiltração	98,4	-	68,6	99,1	Nascimento <i>et al.</i> (2019)
(Coag/Floc/Sedim) + Filtração com areia + Adsorção com CAG	-	61,5	21,4	80,7	Mohan (2014)
(Coag/Floc/Sedim) + Adsorção + Microfiltração	99,9	80	-	99,4	Huang <i>et al.</i> (2019)
Oxidação eletroquímica + tratamento biológico	99	-	93	-	Sathishkumar <i>et al.</i> (2019)
Reator biológico anaeróbio + carvão ativado + ultrafiltração	91	-	72	-	Samuchiwal <i>et al.</i> (2021)
Tratamento biológico + adsorção com Carvão ativado de casca de arroz	98,4	85	92	-	Raj <i>et al.</i> (2021)
Ozonização + tratamento biológico	96	-	67	-	Souza, Bonilla e Souza (2010)
Filtro biológico aerado + ozônio	89,3	72,7	-	-	Qi, Wang e Xu (2011)
Adsorção + Fitorremediação	-	77,5	-	-	Siswoyo, Utari e Mungkari (2019)

Legenda: Coag: Coagulação; Floc: Floculação; Sedim: Sedimentação; CAG: Carvão Ativado Granular.

Nascimento *et al.* (2019) corroboram com os estudos referentes ao tratamento combinado para efluentes têxteis, principalmente os de lavanderias industriais, ao destacarem que os métodos aplicados para tratar eficientemente as águas residuais dessas unidades são, geralmente, baseados na combinação de processos biológicos, físicos e químicos. Os autores supracitados enfatizam a aplicação de métodos como eletrocoagulação, processos de separação por membrana, biorreatores de membrana, adsorção, fotólise, eletrocoagulação/eletroflotação, coagulação, coagulação/membranas e coagulação/adsorção.

2.3 SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Devido à imagem socioambiental negativa, as grandes indústrias têxteis têm buscado, nos últimos anos, valorizar a inclusão de aspectos ambientais nos processos produtivos, a partir do incremento de técnicas consideradas ambientalmente positivas, buscando atender aos princípios da gestão ambiental (Silva *et al.*, 2021). Apesar de já existirem empresas têxteis com funcionamento voltado para aspectos sustentáveis e enfatizando a sustentabilidade de longo prazo, a implementação das práticas na indústria ainda é recente. Diversos modelos têm sido desenvolvidos para permitirem uma vida útil mais longa ao produto e incentivarem o consumo têxtil mais sustentável, além de se buscar prolongar os ciclos de vida e reduzir o desperdício (Luoma *et al.*, 2022). Com isso, observa-se que o setor têxtil exige soluções rápidas e eficientes em relação à utilização de recursos naturais, assim como ao descarte de resíduos e efluentes, buscando uma gestão estratégica comprometida com princípios de sustentabilidade (Cavalcanti; Lira; Silva, 2019).

2.3.1 Aspectos regulatórios que afetam a sustentabilidade na indústria têxtil

A Política Nacional do Meio Ambiente, estabelecida pela Lei nº 6.938/1981, possui relevância para diversos setores, incluindo a indústria têxtil. Como o setor supracitado é conhecido por ter um impacto significativo no meio ambiente devido aos processos de produção que envolvem o uso intensivo de recursos naturais e a geração de resíduos e poluentes, a lei estabelece diretrizes para a proteção ambiental e busca promover a utilização racional dos recursos naturais, incluindo a água e a matéria-prima utilizada pela indústria têxtil. A Política Nacional do Meio Ambiente classifica, ainda, a indústria têxtil e de vestuário como potencialmente poluidora e utilizadora de recursos ambientais, de grau médio.

A Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, estabelece diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de atividades que possam causar impactos ambientais. Nesse contexto, a indústria têxtil é uma atividade sujeita ao licenciamento ambiental, de acordo com a Resolução supracitada e, por isso, deve atender a aspectos relacionados à avaliação de impacto ambiental, a programas de controle ambiental, ao monitoramento ambiental, ao tratamento de efluentes e emissões e ao gerenciamento de resíduos.

O Código Florestal brasileiro, Lei nº 12.651/2012, é uma legislação que estabelece as normas gerais sobre a proteção da vegetação nativa, a utilização e a recuperação das áreas de preservação permanente, de reserva legal e de uso restrito. Embora o código não mencione especificamente a indústria têxtil, ele possui implicações para diversos setores econômicos, incluindo o setor têxtil, visto que a utilização de lenha nas caldeiras para a geração de vapor em grande parte das indústrias têxteis faz com que o setor seja afetado por esta lei. No contexto da indústria têxtil, as empresas que utilizam matérias-primas de origem vegetal precisam estar atentas ao cumprimento das exigências do Código Florestal. Isso envolve o rastreamento da procedência das fibras, a verificação do cumprimento das normas de reserva legal pelos fornecedores e a adoção de práticas de produção sustentável.

A Lei nº 9.433/1997, que estabelece a Política Nacional dos Recursos Hídricos e o Sistema de Gerenciamento, tem impacto direto na indústria têxtil, uma vez que essa atividade consome significativas quantidades de água em seus processos produtivos. Para o setor industrial, incluindo a indústria têxtil, são estabelecidos instrumentos de gestão, como outorga de direito de uso da água e cobrança pelo uso dos recursos hídricos. A partir da Lei das Águas, a indústria têxtil é obrigada a adotar práticas de gestão sustentável dos recursos hídricos.

No que diz respeito à indústria têxtil, a Resolução Conama nº 357/2005 estabelece parâmetros e limites para o lançamento de efluentes líquidos gerados por esse setor. A indústria têxtil utiliza diversos produtos químicos em seus processos, como corantes, fixadores, solventes e outros compostos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente se descartados de forma inadequada. A resolução define limites máximos permitidos para a concentração de diversas substâncias presentes nos efluentes líquidos industriais e visa garantir que os efluentes lançados pelas indústrias têxteis não causem poluição ou degradação dos corpos d'água receptores. Além disso, a Resolução Conama nº 357/2005 também estabelece a necessidade de tratamento prévio dos efluentes líquidos antes do seu lançamento. As indústrias têxteis devem implementar sistemas de tratamento que sejam capazes de remover ou reduzir a concentração de substâncias

poluentes presentes nos efluentes, garantindo que os limites estabelecidos pela resolução supracitada sejam atendidos.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305/2010, estabelece diretrizes e responsabilidades para a gestão adequada dos resíduos sólidos, incluindo os resíduos gerados pela indústria têxtil. A lei busca promover a sustentabilidade ambiental e incentivar práticas que reduzam o impacto dos resíduos no meio ambiente e na sociedade. A indústria têxtil é uma das maiores geradoras de resíduos sólidos, envolvendo desde a produção de tecidos até o descarte de roupas usadas. A lei estabelece a responsabilidade compartilhada entre os diversos atores envolvidos na cadeia produtiva para a destinação correta dos resíduos gerados. Inclui-se, ainda, aspectos relacionados à responsabilidade pelo ciclo de vida do produto, à implementação da logística reversa e o estímulo à reciclagem.

Além de contribuir para ganhos econômicos e ambientais, a adoção de ferramentas de sustentabilidade no setor têxtil pode favorecer o atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como, por exemplo, os ODS 9, 12 e 15, destacando-se a efetivação de uma industrialização inclusiva e sustentável, o fomento à inovação a partir de padrões de produção sustentáveis, bem como a promoção da utilização sustentável dos ecossistemas existentes advindos da redução de matérias-primas básicas, consumo de energia elétrica e minimização da geração de resíduos industriais por meio de inovação tecnológica e equipamentos modernos (Oliveira Neto *et al.*, 2019).

2.3.2 Tendências, desafios e oportunidades

A implantação de tecnologias limpas é considerada uma solução viável para as empresas controlarem a poluição em todas as etapas do processo produtivo de forma a reduzir a poluição desde o início da linha de produção e, portanto, minimizar os danos ao meio ambiente (Canales, 2020). Com isso, ferramentas de sustentabilidade, como Ecoeficiência e Produção Mais Limpa (P+L), têm sido consideradas de grande importância para atender aos preceitos sustentáveis nas grandes indústrias.

A Ecoeficiência fomenta a inovação e conseqüentemente o crescimento e a competitividade, mas aposta, também, na cooperação com outros segmentos da sociedade, fazendo com que a implementação leve a mudanças na cultura organizacional em todos os níveis (Zapata-Garza; Demmler; Uribe-Urán, 2018). O principal objetivo é permitir produção e serviços de qualidade com características ecologicamente adequadas (Canales, 2020). De maneira geral, a Ecoeficiência engloba todos os componentes que permitem o progresso

econômico por meio da utilização dos recursos de forma mais eficiente e de menos emissões nocivas para o ambiente (Costa; Oliveira Neto; Lucato, 2014).

De acordo com a Comissão Econômica e Social das Nações Unidas para a Ásia e o Pacífico (ESCAP, 2009), existem sete elementos ou dimensões que devem ser consideradas no contexto da Ecoeficiência, principalmente no setor produtivo. São eles: redução de exigências na adoção de materiais para a produção de bens e serviços; redução da intensidade do uso de energia em produtos e serviços; redução na dispersão de produtos tóxicos; melhorias na reciclabilidade de materiais; potencialização do uso sustentável de recursos renováveis; aumento na durabilidade de produtos; e aumento na intensidade dos serviços.

O conceito amplamente disseminado sobre a P+L refere-se aos processos e tecnologias que são desenvolvidos e utilizados por meio da introdução de métodos e práticas que objetivam prevenir e/ou reduzir os danos ao meio ambiente (Giannetti *et al.*, 2020). Sendo assim, é importante destacar que a P+L engloba os aspectos relacionados à integração entre os sistemas produtivos e o consumo de recursos naturais, com relevância para a otimização dos processos de produção considerando princípios ambientais (Tayyab *et al.*, 2021).

A P+L nas grandes indústrias têxteis pode contribuir para ganhos econômicos, ambientais e sociais. Esta ferramenta tem um impacto direto em diversos aspectos essenciais no setor têxtil, principalmente a partir da influência para a minimização no consumo de produtos químicos, a eliminação da geração de efluentes e a promoção do reaproveitamento e reciclagem dos resíduos, bem como a otimização do uso de matérias-primas. Nesse contexto, evidencia-se, ainda, que a P+L impacta positivamente o desempenho em termos de aumento de produtividade e qualidade do produto têxtil, além de permitir melhorias na saúde e segurança do trabalhador e principalmente ganhos no desempenho ambiental (Silva *et al.*, 2021).

O crescimento populacional em todo o mundo tem tornado cada vez mais crescente a demanda por água e tem feito necessária uma efetiva gestão dos recursos hídricos em todos os setores da sociedade. Aliado ao alto crescimento e densidade populacional, outras problemáticas como a baixa disponibilidade hídrica em algumas regiões, cargas poluidoras com capacidade de assimilação cada vez mais deficiente e o comprometimento da qualidade da água, faz com que se busquem ações intensivas relacionadas ao gerenciamento da demanda de água (Marques, 2017; Silva, 2017). Dentre essas ações, pode-se destacar o incentivo ao uso racional da água, a implementação de tecnologias nos processos de tratamento de água e de esgotos e a adoção do reúso de águas (Hoinkis *et al.*, 2012).

Nesse contexto, o reúso de águas pode ser visto de uma forma mais ampla, uma vez que abrange também aspectos relacionados ao uso eficiente e racional da água e à qualidade dos

ambientes aquáticos, principalmente no que diz respeito ao controle das perdas nos sistemas de abastecimento, à atenuação da geração de efluentes, à minimização do consumo de água e à recuperação de corpos hídricos (Moura *et al.*, 2020).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) justifica a adoção do reúso das águas a partir das seguintes perspectivas: a crescente urbanização que tem levado aos problemas de escassez de abastecimento de água; a necessidade do uso eficiente dos recursos hídricos; e aspectos que englobam a proteção ambiental, como também a saúde pública (EPA, 2012).

O tratamento de efluentes com vistas ao reúso das águas residuais tem sido visto como uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento da sustentabilidade na indústria. Isso ocorre, principalmente porque a gestão dos recursos hídricos tornou-se uma questão operacional e ambiental importante, além do fato de que a legislação tem se apresentado cada vez mais rigorosa no que diz respeito aos aspectos de intensidade e eficiência nos processos de tratamento para tornar os efluentes gerados nos processos adequados para a prática de reúso (Hoinkis *et al.*, 2012).

A grande pegada hídrica da indústria têxtil motiva a implementação do reúso de água que minimiza o consumo de água doce paralelamente à minimização de efluentes (Nema *et al.*, 2021). Nesse contexto, o incentivo à adoção do reúso de águas parte do fato de que a maioria dos setores industriais se caracteriza como hidro intensivos diante do consumo de água. Porém, é importante atentar para o fato de que, apesar das oportunidades serem muitas, é relevante considerar que o efluente deve ser submetido a um processo de tratamento adequado para que adquira as características que são necessárias para a adoção das práticas (Marques, 2017).

Silva Filho *et al.* (2021b) analisaram que, na indústria de beneficiamento de *jeans* no município de Caruaru – PE, a maioria das lavanderias consome, individualmente, de 601 a 1200 m³ de água por mês. De acordo com o levantamento realizado pelos autores supracitados, verificou-se que há a inserção da prática de reúso de águas nas lavanderias do município, onde a maioria tem adotado a ação nos processos em uma faixa de 31% a 50% da água que é utilizada. Segundo Silva Filho *et al.* (2021b), a maioria das práticas de reúso adotadas se dá através do aproveitamento dos efluentes tratados, cujo volumes são encaminhados para o reservatório de abastecimento para serem misturados com água bruta e posterior uso no processo de beneficiamento.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE ASPECTOS ASSOCIADOS À PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA TÊXTIL

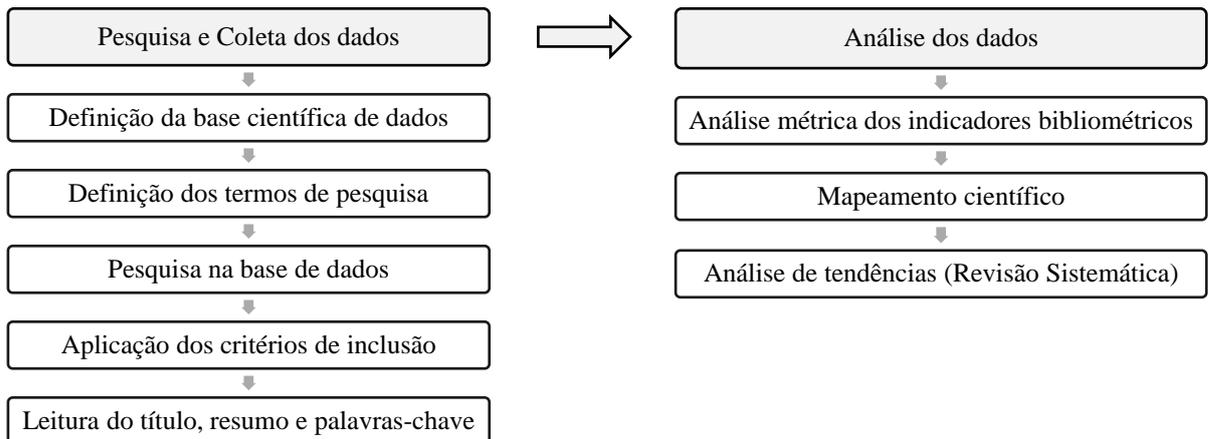
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No Capítulo 2, analisou-se que a implementação de ferramentas e tecnologias baseadas na Ecoeficiência, na Produção Mais Limpa (P+L) e no Reúso de Águas tem se tornado importante para minimizar a poluição ambiental causada pelas indústrias têxteis e, conseqüentemente, incentivar a geração de benefícios econômicos e operacionais. Nesse sentido, buscou-se, no Capítulo 3, identificar os fatores que têm contribuído para o desenvolvimento da sustentabilidade na indústria têxtil, incluindo os aspectos relacionados à ecoeficiência, à P+L e ao reúso de águas, a partir da análise do panorama, da evolução da produção científica e das tendências de pesquisa.

Esta análise foi realizada buscando evidenciar algumas perspectivas específicas, principalmente as seguintes: a evolução da abordagem da sustentabilidade nos estudos relacionados à indústria têxtil, em termos de produtividade científica; os principais tópicos de pesquisa abordados nos estudos de sustentabilidade no ramo analisado; a forma como aspectos de ecoeficiência, P+L e reúso de águas são evidenciados nestes estudos; e as principais tendências que têm contribuído para a inserção da sustentabilidade na indústria têxtil por meio de fatores relacionados, principalmente, à P+L, à ecoeficiência e ao reúso de águas.

3.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

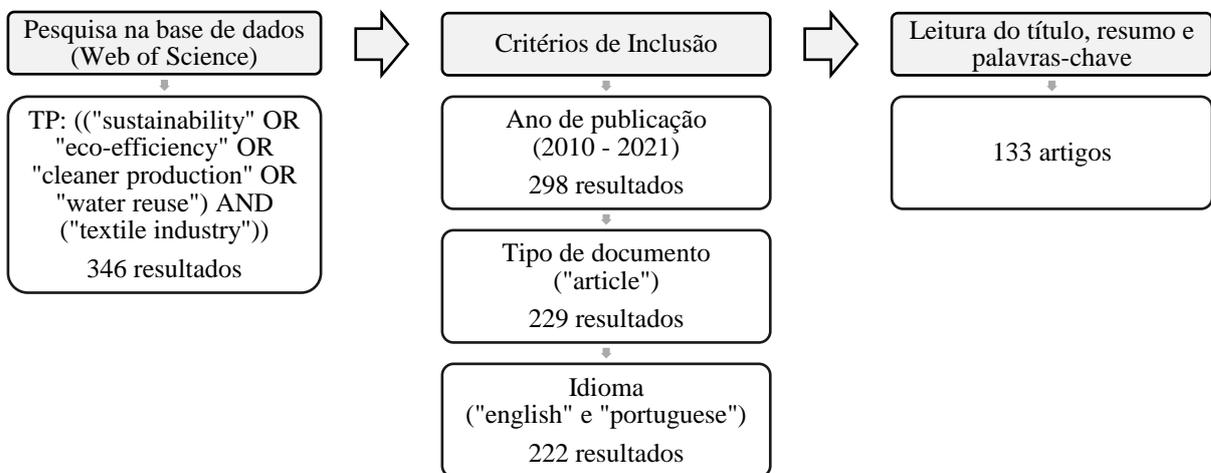
As tendências associadas à sustentabilidade na indústria têxtil foram identificadas a partir de uma análise bibliométrica, utilizada por possibilitar uma investigação abrangente em relação às tendências de pesquisa no contexto estudado. Para isso, foi definido um delineamento metodológico sistemático que possibilitasse, principalmente, o atendimento aos aspectos evidenciados (Figura 5).

Figura 5 – Procedimentos metodológicos de pesquisa, coleta e análise dos dados

Fonte: Autor (2023)

3.2.1 Estratégias de pesquisa e coleta dos dados

Por meio de critérios e estratégias de pesquisa previamente definidos (Figura 6), foram obtidos 133 artigos que formaram a base de dados para a análise realizada neste estudo.

Figura 6 – Critérios e estratégias de pesquisa e coleta dos dados e seleção dos estudos

Fonte: Autor (2023)

A base de dados escolhida para a realização do estudo foi o Web of Science (WoS), caracterizado como um banco de dados de grande relevância para a literatura científica e, principalmente para a bibliometria, por apresentar um conjunto de metadados que inclui resumos, palavras-chave, número de citações, autores, países, universidades e fator de impacto de periódicos (Kasavan *et al.*, 2021).

Os termos de pesquisa foram definidos a partir da análise da literatura científica, tendo como base estudos já publicados sobre a temática da sustentabilidade no setor têxtil, além dos

objetivos definidos para este escrito. Com isso, os vocábulos foram incluídos no WoS através da ferramenta Topic (título, resumo e palavras-chave) por meio das seguintes palavras-chave e operadores: (("sustainability" OR "eco-efficiency" OR "cleaner production" OR "water reuse") AND ("textile industry")).

O tipo de documento considerado na coleta de dados limitou-se apenas aos artigos de pesquisa, e a busca pelos artigos foi realizada em 16 de janeiro de 2022, sendo aplicada em um único dia devido a atualização do banco de dados na plataforma ser diária. O período de tempo avaliado considerou artigos publicados entre os anos de 2010 e 2021. Os artigos também foram selecionados de acordo com a linguagem de escrita, considerando os estudos publicados em inglês e português. Após a obtenção dos resultados na base de dados, foi realizada uma leitura preliminar do título, resumo e palavras-chave dos estudos, buscando verificar e selecionar os artigos que, de fato, apresentavam relevância dentro do contexto e do objetivo da pesquisa.

3.2.2 Análise dos dados

Para a análise dos dados, foram utilizadas técnicas avaliativas e técnicas relacionais inerentes à análise bibliométrica. As técnicas avaliativas corresponderam às medidas de produtividade e métricas de impacto das publicações, enquanto as técnicas relacionais subsidiaram aspectos relacionados à coautoria e coocorrência. De maneira geral, esta etapa do trabalho foi realizada a partir dos seguintes procedimentos: a análise de desempenho, produtividade e métricas de publicação; o mapeamento científico; e a análise de tendências, por meio de uma revisão sistemática.

A avaliação de desempenho, ou seja, a análise métrica dos indicadores relacionados às publicações, observa as contribuições e o desempenho dos diferentes constituintes da pesquisa, como autores, periódicos, países e instituições (Donthu *et al.*, 2021). Nesse sentido, foram examinados os índices relacionados ao crescimento de publicações ao longo do período de estudo, assim como as publicações com maior contribuição científica no grupo de artigos com base no número de citação, além dos autores, periódicos e países mais produtivos.

O mapeamento científico foi realizado como meio para evidenciar a forma como os constituintes da pesquisa se relacionam a partir da construção e análise de redes bibliométricas. Em uma rede, dois constituintes são conectados quando apresentam alguma relação e infere-se que as publicações citadas em conjunto com frequência são de temáticas semelhantes. Sendo assim, para essa estruturação foram utilizadas as técnicas de análise de cocitação, coautoria e coocorrência de palavras-chave e, a partir disso, foram geradas redes que possibilitaram o

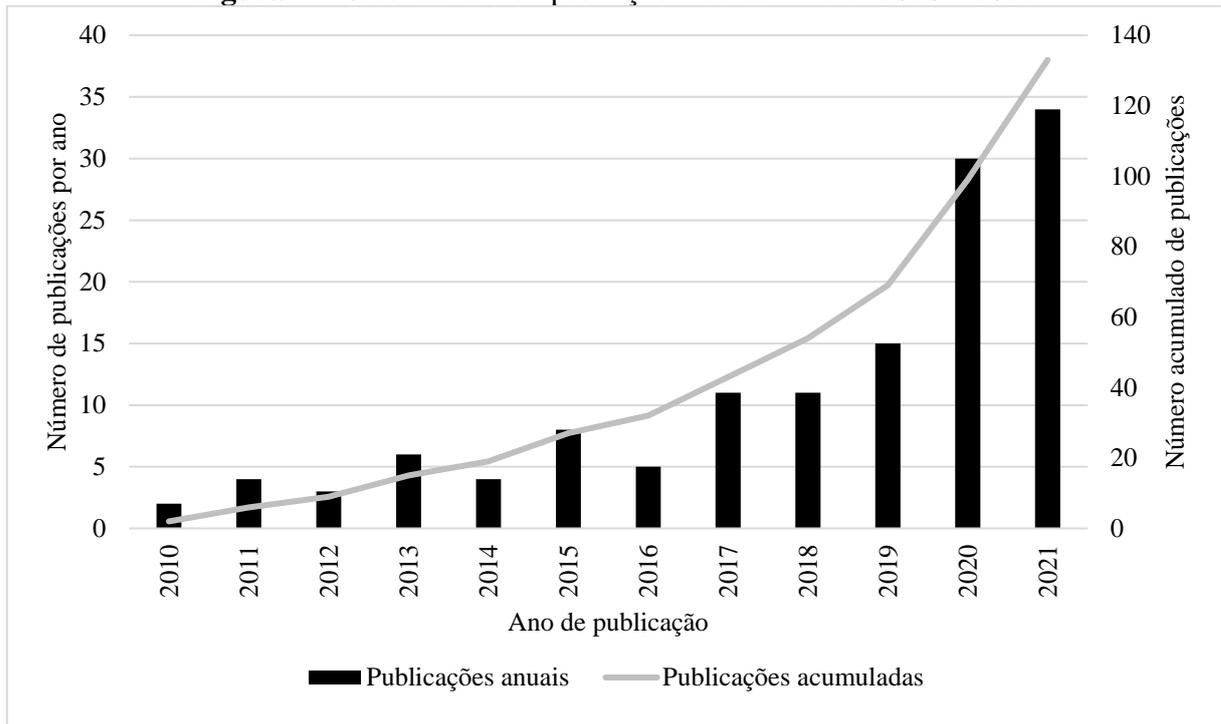
entendimento da estrutura bibliométrica e intelectual da temática de estudo. Essas redes foram constituídas por agrupamentos temáticos, também chamados de clusters, gerados de acordo com a frequência e a força de ligação entre os constituintes a partir das temáticas de estudo.

A construção e análise das redes bibliométricas foi, então, realizada através do software VOSviewer versão 1.6.18. Esse software fornece uma interface gráfica de redes que são agrupadas por meio dos clusters e de “nós” e “links”. Cada nó em uma rede representa uma entidade (artigo, autor, país, instituição, palavra-chave, periódico) e o seu tamanho indica a ocorrência, ou seja, o número de vezes que um determinado tópico ocorre no grupo dos estudos. Os links, por sua vez, explicam a relação e a ligação entre os tópicos que se manifestam no agrupamento temático. Cada cluster temático é representado por uma cor, e os nós e links nesse cluster podem ser usados para explicar a cobertura dos tópicos (nós) e do tema (cluster) e os relacionamentos (links) entre os tópicos (nós) em relação a esse tema (Donthu *et al.*, 2021).

Para o levantamento das tendências e dos principais aspectos, assim como das evidências relacionadas à inserção da sustentabilidade na indústria têxtil por meio dos objetivos da ecoeficiência, Produção Mais Limpa e reúso de águas, foi utilizada uma revisão sistemática como método complementar. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das principais informações pertinentes à uma questão específica, através da extração e análise dos dados, apreciação crítica e síntese da informação selecionada no grupo de estudos (Sampaio; Mancine, 2007). Nesse contexto, os artigos foram categorizados de acordo com dimensões, técnicas e ferramentas associadas à Produção Mais Limpa e as tecnologias e processos de tratamento de efluentes associados ao reúso de águas.

3.3 EVOLUÇÃO DO ESTADO DA ARTE

Buscando verificar, ao longo do tempo, o crescimento das publicações relacionadas à temática do estudo e identificadas no levantamento realizado, analisou-se o número de artigos de acordo com o ano de publicação, assim como o montante do número de publicações no período entre os anos de 2010 e 2021 (Figura 7).

Figura 7 – Crescimento da produção científica entre 2010 e 2021

Fonte: Elaborado a partir de Web of Science (2023).

Observou-se que nos primeiros anos do período estudado, as pesquisas publicadas na temática analisada tiveram um aumento lento ao longo do tempo. No entanto, constatou-se que nos três últimos anos do período (2019, 2020, 2021) houve um aumento progressivo no número de publicações, resultando em cerca de 59,4% das pesquisas obtidas em todo o levantamento. Verificou-se que os estudos publicados nestes três últimos anos abordaram temáticas relacionadas, principalmente, à implementação e à gestão da sustentabilidade na indústria têxtil, incluindo aspectos como Produção Mais Limpa, economia circular, avaliação do ciclo de vida e reúso de águas.

Analisou-se que no início do período (2010 a 2013), os estudos que abordavam a temática da sustentabilidade na indústria têxtil enfatizam tópicos de pesquisa relacionados à tratamento de efluentes têxteis, com destaque para a investigação dos processos de nanofiltração e ultrafiltração, objetivando o reúso de águas. Identificou-se que os trabalhos publicados entre 2014 e 2017 incluíram novos aspectos na área, incluindo, com maior frequência, alguns termos como gestão sustentável, ecoeficiência, Produção Mais Limpa e tecnologias para a remoção de cor no tratamento de efluentes.

3.4 ANÁLISE MÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

O número de citações é utilizado como um indicador para avaliar o impacto das publicações e a qualidade destas, com destaque para os estudos que frequentemente são citados na área de pesquisa (Kasavan *et al.*, 2021). Sendo assim, identificou-se, no levantamento realizado, as publicações que apresentavam maiores contribuições científicas a partir do número de citações registradas na base de dados, de acordo com os critérios utilizados neste estudo (Tabela 4).

Tabela 4 – Lista das publicações mais citadas

N	Título	Ano	Primeiro Autor	Periódico	Total de citações	Nº Médio de Citações por Ano
1	Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and clothing	2011	Niinimaki, K.	Journal of Cleaner Production	198	16
2	Institutional incentives in circular economy transition: The case of material use in the Dutch textile industry	2017	Fischer, A.	Journal of Cleaner Production	104	17
3	Reactive dyes rejection and textile effluent treatment study using ultrafiltration and nanofiltration processes	2012	Aouni, A.	Desalination	99	9
4	Pilot-scale evaluation of nanofiltration and reverse osmosis for process reuse of segregated textile dyewash wastewater	2012	Kurt, E.	Desalination	87	8
5	Sustainable textile production: a case study from a woven fabric manufacturing mill in Turkey	2014	Alkaya, E.	Journal of Cleaner Production	83	9
6	A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry	2017	Chen, L.	Journal of Cleaner Production	65	11
7	Integrated water management and CP implementation for wool and textile blend processes	2010	Baban, A.	Clean-Soil Air Water	65	5
8	Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals	2019	Oliveira Neto, G. C.	Journal of Cleaner Production	58	14
9	Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach	2017	Tseng, M.	Journal of Cleaner Production	56	9
10	Toward an systemic navigation framework to integrate sustainable development into the company	2013	Zhang, F.	Journal of Cleaner Production	55	5

Fonte: Elaborado a partir de Web of Science (2023).

Entre os 10 artigos mais citados, 6 foram publicados entre 2010 e 2014, e os demais, nos anos de 2017 e 2019, especificamente. Constatou-se, ainda, que, das 10 publicações, 7 produções foram publicadas no periódico *Journal of Cleaner Production*. Verificou-se, também, que os estudos elencados dentre os mais citados apresentaram pesquisas relacionadas a diversas temáticas voltadas à sustentabilidade na indústria têxtil e evidenciaram aspectos sobre Produção Mais Limpa, reúso de águas, desenvolvimento sustentável, economia circular, tratamento de efluentes têxteis,ecoinovação, simbiose industrial e gestão ambiental.

Os artigos elencados entre os mais citados apresentaram uma discussão em relação às oportunidades para a sustentabilidade, não apenas na produção têxtil, mas também no consumo e vestuário. Dentre outros aspectos, evidenciou-se o tratamento de águas residuais têxteis por meio de tecnologias associadas aos processos de membrana, buscando obter efluentes tratados que apresentassem qualidade para a reutilização na indústria.

Sob o ponto de vista da P+L, os artigos destacados dentre os mais citados, apresentaram ferramentas para a avaliação de desempenho de conservação de água e controle de poluição em nível de processo de tecnologia de P+L na indústria têxtil, assim como investigaram alternativas de tratamento de efluentes têxteis econômicas e aplicáveis, buscando integrar as concepções e princípios da gestão das águas às opções de implementação ligadas aos conceitos de P+. Vantagens econômicas e ambientais associadas à P+L na indústria têxtil também foram avaliadas sob a perspectiva de contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Além disso, analisou-se que os estudos aprofundaram a investigação em relação à aplicabilidade de diferentes medidas de produção sustentável, buscando demonstrar os benefícios ambientais e econômicos através de aplicações voltadas para o consumo de água, geração de efluentes, consumo de energia, emissões de gases de efeito estufa e consumo de sal. Vale destacar que aspectos sobre os atributos de ecoinovação também foram estudados, visando melhorias para o desempenho da simbiose industrial.

O levantamento de periódicos permite uma análise das principais áreas de pesquisa associadas aos trabalhos desenvolvidos na temática de estudo e possibilitam um entendimento sobre o universo no qual estas produções estão incluídas. Sendo assim, identificou-se os periódicos com o maior número de publicações no levantamento bibliométrico realizado (Tabela 5).

Tabela 5 – Lista dos periódicos com o maior número de publicações

Periódico	Total de Publicações		Principais Áreas de Pesquisa	JCR Impact Fator 2020	Qualis/CAPES (Engenharias I) Quadriênio 2013-2016
	n	%			
Journal of Cleaner Production	36	26,07	Engenharia / Ecologia e Ciências Ambientais	9,297	A1
Journal of Environmental Management	4	3,01	Ciências Ambientais	6,789	A1
Tekstil Ve Konfeksiyon	4	3,01	Ciências dos Materiais	0,5	-
ACS Sustainable Chemistry & Engineering	3	2,26	Química / Engenharia	8,198	A1
Desalination and Water Treatment	3	2,26	Engenharia / Recursos Hídricos	1,254	A1
Journal of Water Process Engineering	3	2,26	Engenharia / Recursos Hídricos	5,485	B1
Sustainability	3	2,26	Ecologia e Ciências Ambientais	3,251	A2

Fonte: Elaborado a partir de Web of Science (2023).

Constatou-se que 7 periódicos registraram 3 ou mais estudos no período analisado, evidenciando-se o fato de que a maior parte dos artigos obtidos nesta pesquisa foram publicados em periódicos considerados de alto impacto. Vale destacar que o conjunto de artigos elencados nestes periódicos corresponde a pouco mais de 41% das publicações totais obtidas no levantamento, evidenciando o fato de que a maior parte dos periódicos registrou 1 ou 2 artigos.

A análise dos indicadores “JCR Impact Fator” e “Qualis/CAPES” permitiu inferir que os pesquisadores reconhecem a importância da publicação dos estudos em periódicos de relevância, possibilitando e contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas importantes nos tópicos relacionados à temática. Verificou-se que os periódicos elencados englobavam 5 áreas temáticas diferentes: “Engenharia”, “Ecologia e Ciências Ambientais”, “Ciência dos Materiais”, “Química” e “Recursos Hídricos”.

Analisou-se que o Journal of Cleaner Production foi o periódico que apresentou o maior número de registros no período (36 publicações), estando associado às áreas de pesquisa de Engenharia e Ecologia e Ciências Ambientais. Dentre as temáticas mais relevantes abordadas nos estudos publicados no periódico supracitado, destacam-se o impacto e a gestão da Produção Mais Limpa, do reúso de águas e da sustentabilidade na indústria têxtil.

Com 4 publicações, cada um, o Journal of Environmental Management e o Tekstil Ve Konfeksiyon também estão elencados dentre os periódicos com o maior número de publicações relacionadas à temática de estudo, segundo o levantamento bibliométrico. O primeiro trata-se

de um periódico que divulga estudos relacionados ao gerenciamento de sistemas ambientais e à melhoria da qualidade ambiental e está associado à área de Ciências Ambientais, enquanto o segundo publica artigos de pesquisa sobre os vários ramos da tecnologia na indústria têxtil e de vestuário, estando mais ligado à área de Ciências dos Materiais. É importante destacar que a maior parte dos estudos publicados nos dois periódicos supracitados abordam, principalmente, aspectos sobre as águas residuais têxteis e o tratamento destas visando o reúso.

Os periódicos “ACS Sustainable Chemistry & Engineering”, “Desalination and Water Treatment”, “Journal of Water Process Engineering” e “Sustainability” apresentaram, cada um, 3 artigos publicados. Estes periódicos englobaram, especialmente, estudos sobre processos sustentáveis na indústria têxtil e processos de tratamento de efluentes têxteis.

Mediante os dados disponibilizados pelo Web of Science, constatou-se que, de modo geral, a área de “Ecologia e Ciências Ambientais” apareceu como a mais comum entre os estudos obtidos nesta análise bibliométrica, englobando mais de 54% dos artigos publicados. Além desta, a área de “Engenharia” também se destacou, estando elencada como área de pesquisa em mais de 50% dos estudos. Vale ressaltar que a maior parte das publicações estavam associadas a mais de uma área de pesquisa. “Outros Tópicos de Ciência e Tecnologia”, “Ciências dos Materiais” e “Recursos Hídricos” também foram evidenciadas como áreas de estudo nos trabalhos publicados e adquiridos neste levantamento.

Os resultados do levantamento realizado também mostraram que, entre os anos de 2010 e 2021, 200 autores tiveram participação na publicação de pesquisas na temática. Com isso, o estudo bibliométrico desenvolvido refletiu o fato de que a produção científica apresenta a participação de diversos pesquisadores. Nesse contexto, foi realizada uma análise em relação aos autores que possuíam três ou mais publicações no período analisado, evidenciando o total de publicações, o número de citações registradas para os autores, assim como a instituição de afiliação e o país (Tabela 6).

Na análise de autoria, constatou-se que 10 autores publicaram três ou mais pesquisas sobre os aspectos de sustentabilidade na indústria têxtil entre os anos de 2010 e 2021, de acordo com os critérios adotados neste estudo. Verificou-se que não houve uma alta concentração de publicações por autor, principalmente quando se verifica que o autor mais produtivo publicou 7 trabalhos no período, o que corresponde a cerca de 5.26% de todos os estudos obtidos nesta análise. Evidencia-se, também, o fato de que somente 10 autores de todo o grupo publicaram estudos associados à temática e obtidos neste levantamento, correspondendo a 5% de todo o conjunto de autores registrados pelo Web of Science, em relação à esta pesquisa.

Tabela 6 – Lista dos autores com mais publicações

Autor	Artigos publicados	Citações	País	Afiliação
Oliveira Neto, G.C.	7	122	Brasil	Universidade Nove de Julho
Silva, P.C.	5	21	Brasil	Universidade Federal de Pernambuco
Tucci, H.N.P.	5	21	Brasil	Universidade Nove de Julho
Correia, J.M.F.	4	66	Portugal	Universidade do Porto
Yang, Y.Q.	4	98	USA	Universidade de Nebraska
Cinperi, N.C.	3	31	Turquia	Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento de Yünsa
Souza, A.A.U.	3	26	Brasil	Universidade Federal de Santa Catarina
Dizge, N.	3	129	Turquia	Universidade de Mersin
Ozturk, E.	3	31	Turquia	Universidade de Ciências Aplicadas de Isparta
Wang, L.L.	3	75	China	Universidade de Xi'an Jiaotong

Fonte: Elaborado a partir de Web of Science (2023).

Além de ser um dos pesquisadores mais citados nos estudos relacionados à temática, Oliveira Neto foi o autor com o maior número de publicações (7 registros) no período analisado. Constatou-se que, das 7 publicações desenvolvidas pelo autor, 5 foram realizadas em parceria com Silva e Tucci, elencados, também, como autores que mais publicaram acerca do tema abordado. Analisou-se que os autores supracitados desenvolveram, durante o período estudado, pesquisas acerca da implementação e da gestão da P+L na indústria têxtil. Alguns aspectos foram avaliados com maior profundidade por Oliveira Neto, Silva e Tucci, como os seguintes: o impacto da reutilização de água e materiais como prática de P+L; a influência das partes interessadas na adoção da P+L; o desempenho econômico, ambiental e operacional relacionados à adoção da P+L; e a relação entre as práticas de P+L e o porte da empresa na indústria têxtil brasileira (Oliveira Neto *et al.*, 2020; Oliveira Neto *et al.*, 2021a; Oliveira Neto *et al.*, 2021b; Oliveira Neto *et al.*, 2021c; Silva *et al.*, 2021).

Autores como Correia e Yang tiveram, cada um, 4 publicações registradas na base de dados utilizada nesta análise bibliométrica. É importante ressaltar que os estudos desenvolvidos por Correia, especificamente, foram publicados em parceria com Oliveira Neto, Silva e Tucci, abordando as temáticas evidenciadas anteriormente. Verificou-se que, por sua vez, Yang desenvolveu estudos voltados para os aspectos relacionados à tecelagem e ao tingimento de fibras têxteis por meio de processos e tecnologias consideradas ambientalmente corretas. Analisou-se que o autor supracitado discutiu e evidenciou, em suas pesquisas, princípios

pertinentes à redução de resíduos e à reutilização e reciclagem de recursos como meios para o desenvolvimento da sustentabilidade na indústria têxtil, e termos como “corante disperso”, “tingimento com solvente”, “avaliação do ciclo de vida”, “ácido polilático” e “dimensionamento de urdidura” foram abordados com frequência nas publicações (Reddy *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2016).

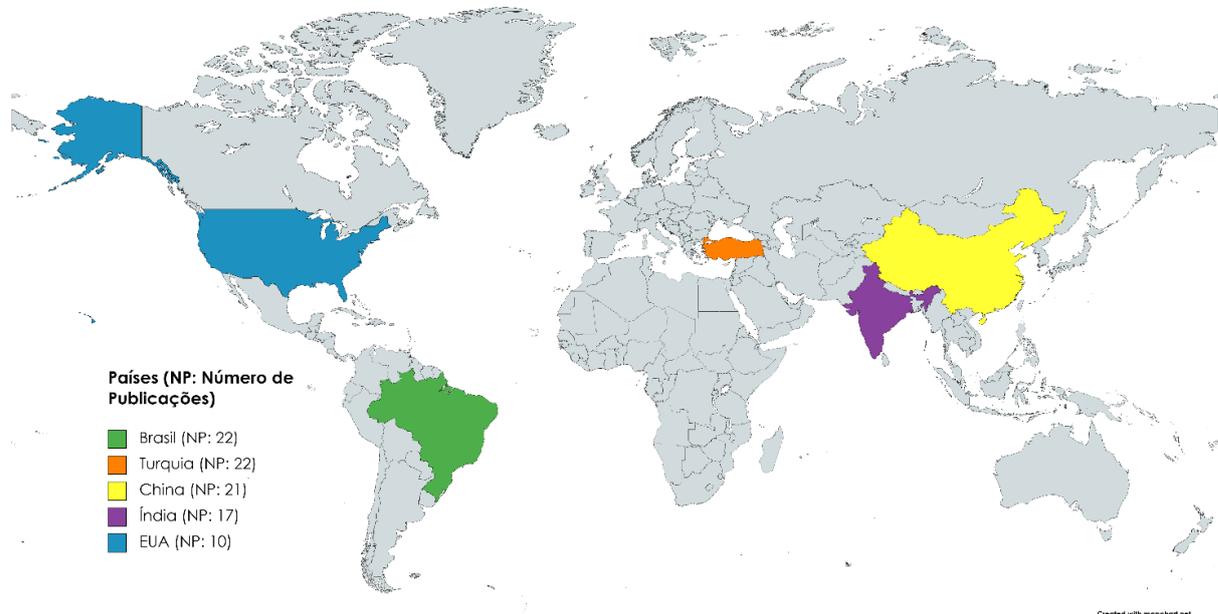
Dos 10 autores que mais publicaram no período analisado, cinco tiveram 3 publicações, cada um, registradas na base de dados. Cinperi e Ozturk estudaram, em coautoria, técnicas que contribuem para a eficiência hídrica e redução de efluentes têxteis, assim como abordaram pesquisas relacionadas às práticas de minimização e substituição de produtos químicos em fábricas têxteis e à eficiência energética em processos de produção têxtil (Ozturk; Cinperi, 2018; Ozturk *et al.*, 2020a; Ozturk *et al.*, 2020b). Em relação aos estudos publicados por Souza e Dizge, identificou-se que os aspectos mais relevantes evidenciados por ambos estiveram ligados às tecnologias e aos processos de tratamento de efluentes têxteis associados ao reúso de águas. Souza, especificamente, publicou pesquisas sobre a integração dos processos baseados em reação de Fenton e de troca catiônica, além do processo de nanofiltração, enquanto Dizge estudou os efeitos dos processos de oxidação avançada e das tecnologias de membranas (Kurt *et al.*, 2012; Hildebrand *et al.*, 2014; Nadeem *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2020a). Por fim, Wang retratou, em seus estudos, as perspectivas sobre as tecnologias de conservação da água e o controle da poluição na indústria têxtil ao nível da P+L, assim como avaliou a pegada hídrica na indústria de vestuário, além de identificar e discutir as dificuldades e desafios na gestão de resíduos da cadeia de suprimentos têxteis (Chen *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2020b; Li *et al.*, 2021).

Mediante as informações obtidas na base de dados utilizada nesta pesquisa, constatou-se que 2 dos 10 autores mais produtivos estavam vinculados à Universidade Nove de Julho. Isso justifica o fato da entidade supracitada estar listada como a segunda instituição que apresenta o maior número de produções sobre o tema, com 7 publicações. É importante ressaltar que, apesar de não ter apresentado nenhum autor com um número total de publicações que possibilitasse a menção dentre os mais produtivos, a Universidade de Donghua, da China, se destacou como a instituição com o maior número de publicações totais na temática deste levantamento (9 artigos), de acordo com o WoS. Além das duas instituições anteriormente citadas, destacou-se, no número de produções, a Universidade Federal de Santa Catarina, com 5 publicações.

Por meio do levantamento dos autores mais produtivos e demais aspectos evidenciados anteriormente, constatou-se que o Brasil se destacou como o país mais impactante e produtivo nas pesquisas relacionadas ao objeto de estudo. Diante disso, buscou-se identificar a

distribuição das publicações obtidas nesta análise bibliométrica nas regiões do mundo, observando a classificação dos artigos produzidos em relação aos países (Figura 8).

Figura 8 – Distribuição das produções em relação aos países que mais publicaram



Fonte: Elaborado por meio de <https://mapchart.net/world.html>, a partir de Web of Science (2023).

No levantamento bibliométrico realizado, identificou-se que 44 países tiveram participação nas 133 produções publicadas em relação à temática deste estudo, entre os anos de 2010 e 2021. Dentre estes, especialmente Brasil, Turquia, China, Índia e EUA foram os países mais produtivos nos últimos anos, cada um com dez ou mais publicações registradas.

Vale ressaltar que a representatividade do Brasil, no que diz respeito ao desenvolvimento de diversos estudos e à relevância como uma localidade que tem importantes publicações associadas à temática da indústria têxtil, pode ser explicada pelo fato de que o país se destaca como a região que apresenta a maior e mais completa cadeia do setor têxtil no Ocidente. Fatores como ser responsável por processos que englobam desde a produção de fibras até o comércio de confecções, desfiles de moda e varejo, tornam eminente a atuação e a importância do Brasil no setor (ABIT, 2020). Por sua vez, China e Índia ocupam o topo da lista dos países que se destacam na importação de têxteis em todo o mundo, onde são evidenciados, também, Turquia e EUA (ABIT, 2022).

Nas 22 publicações registradas para o Brasil, verificou-se que temáticas associadas à implementação e gestão da P+L na indústria têxtil estão entre as mais abordadas nos trabalhos, incluindo-se, nestes aspectos, a importância da responsabilidade social. Além destes pontos, estudos voltados para a importância da P+L como ferramenta para o reúso de águas na indústria

têxtil e abordagens sobre as características das águas residuais têxteis e das tecnologias de tratamento que possibilitam, principalmente, a remoção de cor característica dos efluentes gerados nesta indústria, também são destacados (Hildebrand *et al.*, 2014; Criado *et al.*, 2020; Oliveira Neto *et al.*, 2020; Lombardi Netto *et al.*, 2021; Oliveira Neto *et al.*, 2021b).

Assim como o Brasil, a Turquia e a China também se destacaram nos estudos da temática supracitada. Com um quantitativo de 22 produções publicadas e associadas ao país, constatou-se que na Turquia foram desenvolvidas pesquisas em temas referentes, principalmente, à P+L e à gestão sustentável na indústria têxtil, assim como à economia circular, à eficiência hídrica e energética, à tomada de decisão e ao tratamento e reúso de águas residuais têxteis (Acar *et al.*, 2015; Ozturk; Cinperi, 2018; Kazancoglu *et al.*, 2020; Ozer; Guven, 2021; Ozturk *et al.*, 2020a). Já na China, onde foram evidenciados 21 artigos registrados na base de dados, identificou-se que a maior parte dos estudos abordavam tópicos relacionados ao desenvolvimento da sustentabilidade na indústria têxtil, tratamento e reutilização de efluentes, controle da poluição e conservação da água, assim como aos processos sustentáveis de produção de têxteis, P+L e gestão de resíduos (Chen *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2021).

Índia e Estados Unidos registraram, respectivamente, 17 e 10 artigos sobre a temática da sustentabilidade na indústria têxtil e os aspectos de P+L, ecoeficiência e reúso de águas. Os estudos desenvolvidos e registrados para os países supracitados tiveram uma abordagem semelhante aos analisados nos outros países, evidenciando-se temas referentes ao desenvolvimento sustentável e desempenho ambiental no segmento têxtil, à sustentabilidade no tratamento de efluentes têxteis, à reutilização de águas e à sustentabilidade na cadeia de suprimentos (Pattnaik; Dangayach, 2019; Roy *et al.*, 2020; Shahi *et al.*, 2020; Majumdar; Sinha, 2021).

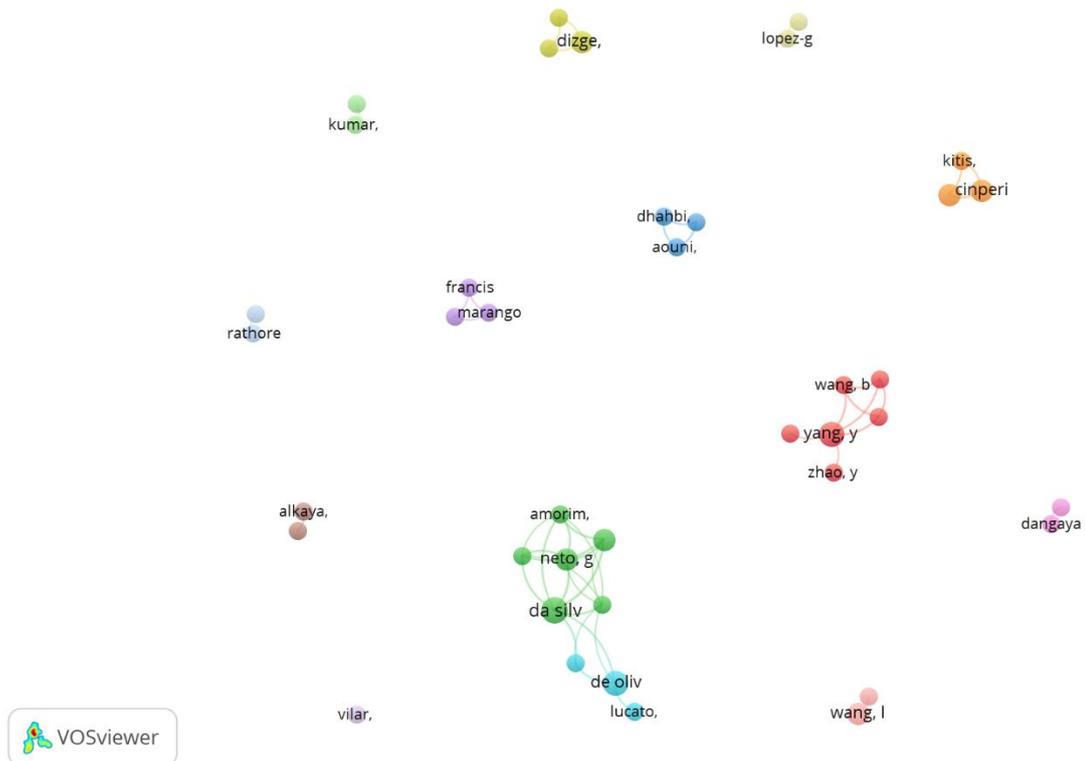
3.5 MAPEAMENTO CIENTÍFICO

Por meio do mapeamento científico buscou-se evidenciar a forma como os constituintes da pesquisa se relacionam a partir da construção e análise de redes bibliométricas. Sendo assim, apresenta-se, a seguir, a estruturação dessas redes bibliométricas, considerando a análise de cocitação, coautoria e cocorrência de palavras-chave, que possibilitaram o entendimento da estrutura bibliométrica e intelectual da temática de estudo.

A análise de coautoria fornece informações em relação às interações ou às relações sociais entre autores, suas afiliações e seus países e os impactos equivalentes no

desenvolvimento do campo de pesquisa (Clemente; Galvão, 2019). Diante do levantamento realizado nesta pesquisa, obteve-se o mapa de rede do conjunto de autores que trabalharam em coautoria no período de estudo (Figura 9), restringindo-se a análise de coautoria a artigos de pesquisa onde os autores possuíam um número mínimo de 2 publicações.

Figura 9 – Rede geral de coautoria entre autores

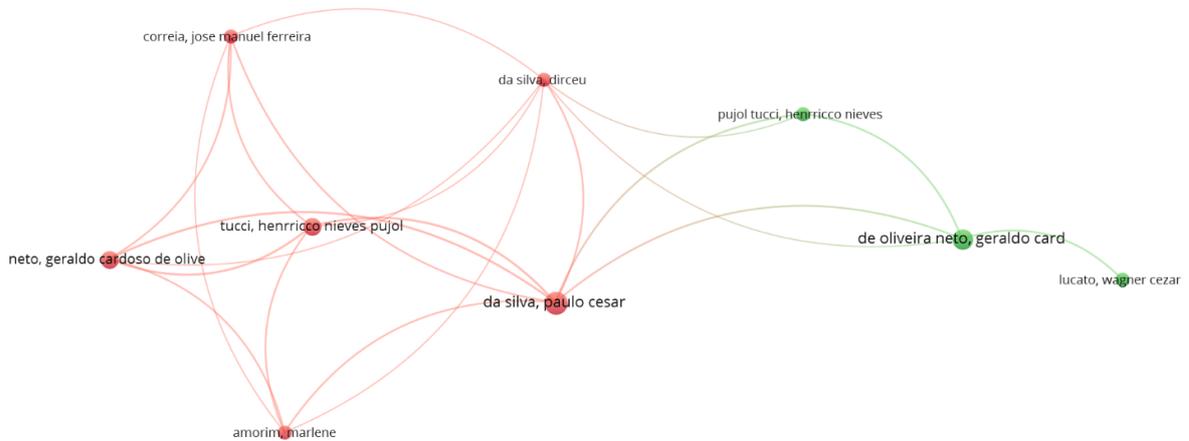


Fonte: Elaborado por meio do VOSviewer, a partir de Web of Science (2023).

Apesar da rede gerada retornar 40 itens associados a autores, pode-se inferir que a densidade desta é baixa, uma vez que a rede não se apresentou tão conectada, onde os itens não estavam interligados uns aos outros. Isso demonstra que, apesar da produção entre os autores ser significativa, a colaboração entre os estudiosos poderia evoluir nas áreas de pesquisa que envolvem as temáticas abordadas, influenciado no desenvolvimento de novos estudos.

Nesse sentido, buscou-se analisar, de maneira específica, como o maior conjunto de itens conectados na rede de coautoria estaria apresentado (Figura 10).

Figura 10 – Rede de coautoria entre autores – maior conjunto de itens conectados

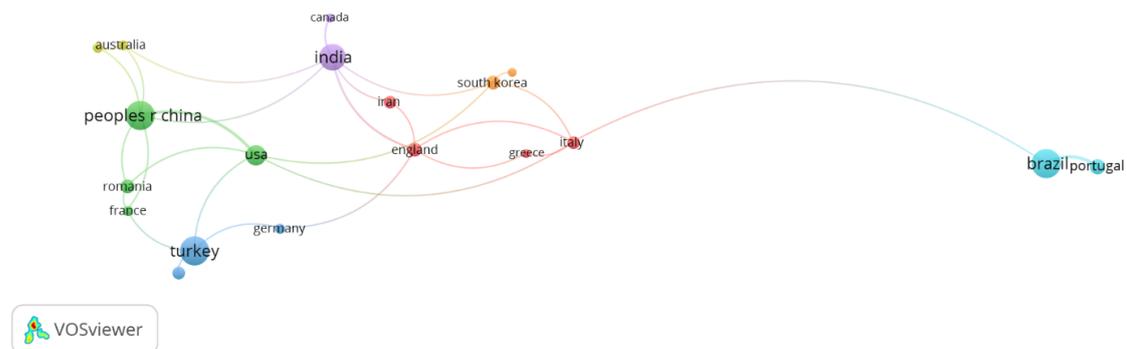


Fonte: Elaborado por meio do VOSviewer, a partir de Web of Science (2023).

Conforme analisado, constatou-se que o maior conjunto de itens conectados incluiu apenas 9 autores. Verificou-se que o mapa constituiu-se, principalmente, de dois *clusters*, destacando-se o fato de que a rede concentrou-se em alguns autores específicos, como Tucci, Oliveira Neto e Silva. Nesse sentido, infere-se que o fato dos supracitados estarem em evidência, reitera a avaliação de que estes autores se apresentam entre os mais prolíferos neste estudo e que, de fato, desenvolveram estudos em parceria.

Para a realização da análise de coautoria entre países, restringiu-se a coleta de dados ao requisito de que, para cada país, seria necessário o registro de, no mínimo, 2 artigos. Nesse sentido, constatou-se que 26 países cumpriram o requisito supracitado, porém, 19 destes estavam vinculados no mapa de rede (Figura 11).

Figura 11 – Rede de coautoria entre países



Fonte: Elaborado por meio do VOSviewer, a partir de Web of Science (2023).

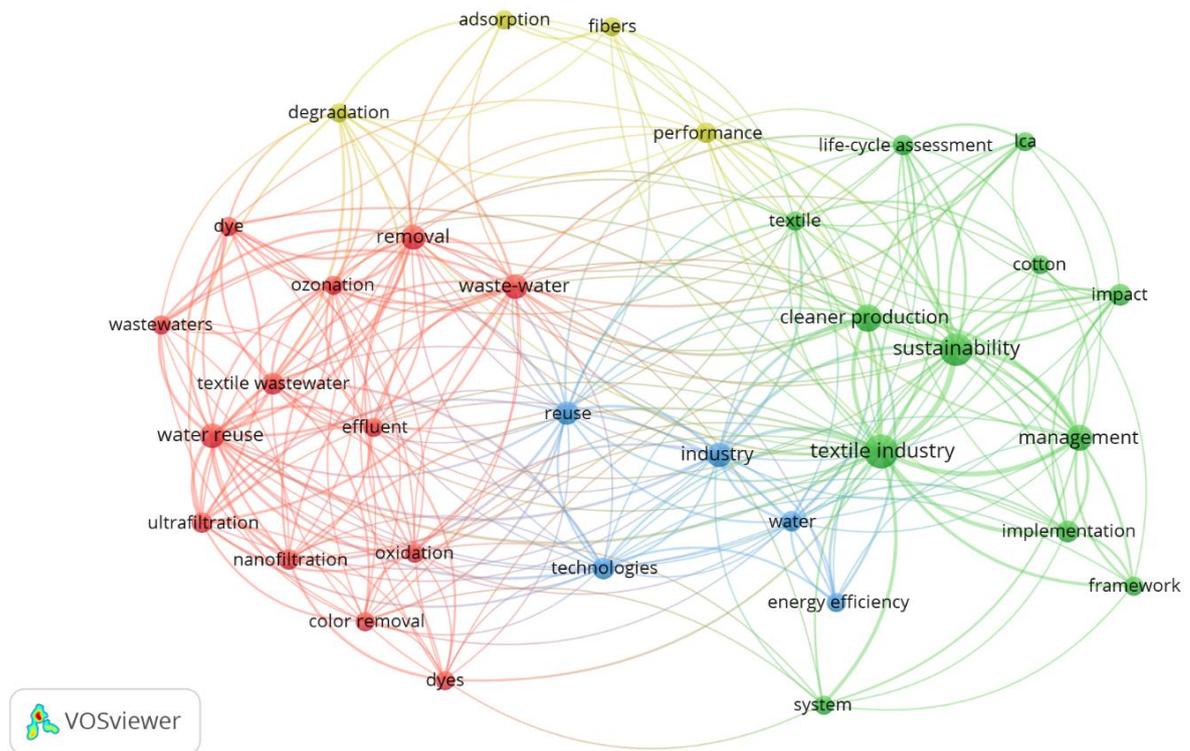
Por meio da análise de coautoria, constatou-se uma comunicação e colaboração entre autores de vários países em pesquisas relacionadas às temáticas abordadas neste estudo. Analisou-se que China foi o país que apresentou a maior força de ligação e o maior número de *links*, demonstrando que o país teve, dentre as demais nações, a maior cooperação e colaboração em pesquisas associadas à temática de estudo com os outros países. USA e Índia apresentaram força e números de ligações próximos ao da China. Embora o Brasil tenha apresentado uma força de ligação próxima a dos países anteriormente citados, verificou-se que o país tem uma baixa ligação (número de *links*), estando conectado apenas à Itália e Portugal. Analisou-se, ainda, que outros países, como Coreia do Sul, Itália e Inglaterra apresentaram relevância para a formação de uma rede de colaboração entre pesquisadores de vários países.

A análise de palavras-chave fornece uma visão ampla sobre os principais padrões, tendências, direcionamentos e fronteiras dos estudos na temática, além de permitir o monitoramento do desenvolvimento da ciência. Nesse tipo de análise, pressupõe-se que palavras que frequentemente aparecem juntas têm uma relação temática entre si (Kasavan *et al.*, 2021; Zeng *et al.*, 2021).

A avaliação realizada por meio da análise de coocorrência de palavras-chave foi desenvolvida a partir de todas as palavras-chave incluídas nos artigos. Além disso, utilizou-se o critério de que a palavra-chave deveria elencar em um número mínimo de 6 vezes para que pudesse ser incluída na rede. Sendo assim, o mapeamento do conjunto de termos interligados gerou uma rede de 34 palavras, divididas em 4 *clusters* (Figura 12).

Nesse sentido, dentre os itens mais recorrentes obtidos através do mapeamento, verificou-se que, de maneira geral, termos como “*textile industry*” (indústria têxtil), “*sustainability*” (sustentabilidade), “*water reuse*” (reúso de água), “*cleaner production*” (Produção Mais Limpa), “*removal*” (remoção), “*waste-water*” (águas residuais), “*management*” (gerenciamento), “*industry*” (indústria) e “*reuse*” (reúso) apresentaram as maiores forças de ligação, as maiores frequências e o maior número de ligações. O fato das primeiras quatro palavras-chave supracitadas elencarem entre as mais recorrentes, pode ser justificado a partir dos mecanismos de busca que foram utilizados no levantamento. É importante destacar que, mesmo sendo utilizado como um termo de busca, a palavra “*eco-efficiency*” (ecoeficiência) não teve uma frequência mínima que possibilitasse a sua presença no mapeamento de rede apresentado anteriormente.

Figura 12 – Rede de coocorrência de palavras-chave



Fonte: Elaborado por meio do VOSviewer, a partir de Web of Science (2023).

Verificou-se que o cluster 1, cor vermelha, composto por 13 itens, agrupou palavras-chave associadas, de maneira geral, a processos de tratamento de efluentes têxteis e reúso de águas. Os termos “removal”, “water reuse” e “waste-water” foram citados com maior frequência e tiveram, também, as maiores forças de ligação. A conectividade entre os itens agrupados no cluster supracitado indica que estudos de reúso de águas na indústria têxtil estão associados a tecnologias de tratamento de águas residuais têxteis e à remoção de corantes. Dentre os processos de tratamento, as técnicas baseadas no uso de membranas (nanofiltração e ultrafiltração), assim como técnicas de oxidação (ozonização) apresentaram similaridade com as palavras-chave elencadas neste cluster.

No cluster 2, cor verde, foram agrupados 12 itens que indicaram um aprofundamento nos estudos relacionados à implantação, à gestão, à estrutura e aos impactos da sustentabilidade na indústria têxtil, incluindo os aspectos de P+L e avaliação do ciclo de vida. Os termos “textile industry”, “sustainability”, “cleaner production” e “management” foram mais frequentes e apresentaram as maiores forças de ligação. O termo “cotton” (algodão) também está incluído no agrupamento indicando pesquisas voltadas para a avaliação do impacto dos processos sustentáveis na matéria-prima da indústria têxtil e na forma como esta é utilizada.

O cluster 3, cor azul, que agrupa 5 itens, evidencia aspectos que estão atrelados aos estudos desenvolvidos, principalmente, por Ozturk *et al.* (2020a; 2020b). Destacam-se, neste agrupamento, palavras-chave relacionadas a pesquisas que, de maneira geral, abordaram o uso de tecnologias associadas a melhorias na eficiência energética e hídrica na indústria têxtil por meio de processos de fomento ao reúso de águas e à redução de efluentes.

Em relação ao cluster 4, cor amarelo, composto por 4 itens, analisou-se um destaque em relação à palavra-chave associada à avaliação de desempenho. Identificou-se que o termo é recorrente nos estudos obtidos e está associado à investigação do desempenho das medidas que visam a sustentabilidade na indústria. No mesmo agrupamento, verifica-se a presença dos termos associados à processos e técnicas que visam a remoção de corantes, nesse caso, adsorção e degradação. Além disso, constata-se a presença do termo “fibers” (fibras), visto como uma palavra-chave em evidência nos estudos sobre o desenvolvimento destes materiais de forma natural e sobre os efeitos da adsorção dos corantes nestas fibras.

3.6 TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES A PARTIR DO ESTADO DA ARTE

Nesta seção é apresentada uma análise que englobou a avaliação de ferramentas para a sustentabilidade na indústria têxtil, a partir da categorização dos estudos em relação a algumas dimensões, técnicas e ações básicas baseadas na P+L (Quadro 2).

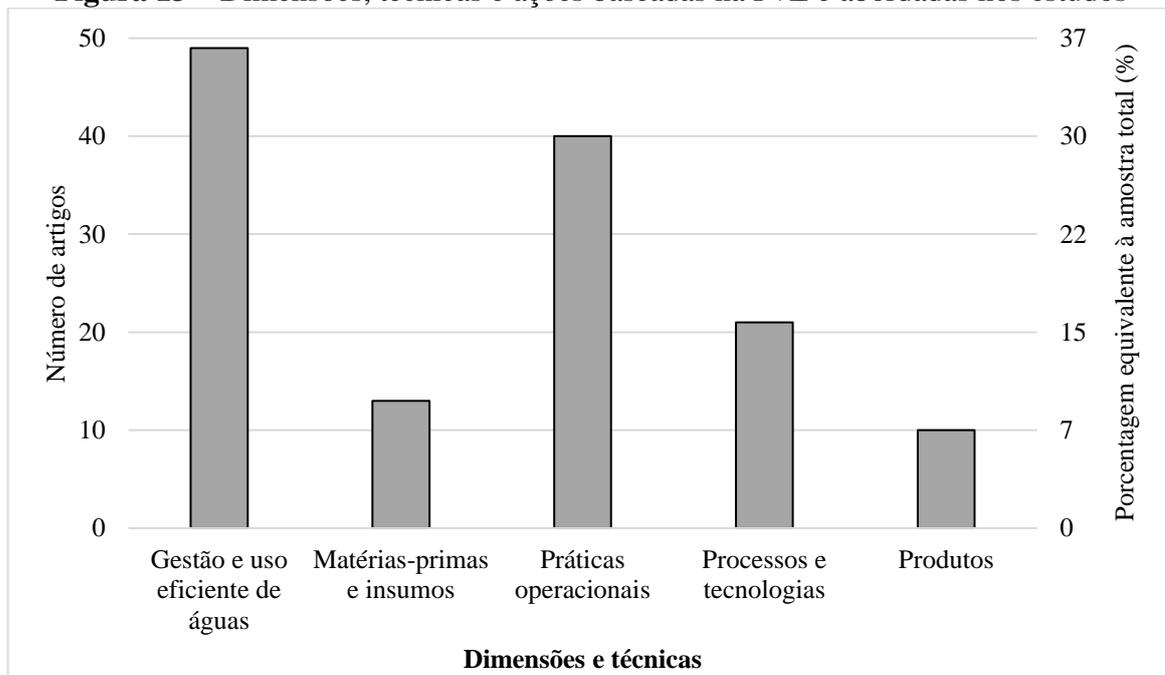
Quadro 2 – Critérios de categorização dos artigos na Revisão Sistemática

Dimensões e técnicas básicas baseadas na P+L	Ações
Gestão e uso eficiente de águas	Mudanças que contribuam para o uso racional e eficiente da água de forma preventiva, assim como o reaproveitamento do recurso e redução dos riscos de poluição dos efluentes
Matérias-primas e insumos	Mudanças que busquem eliminar ou reduzir a entrada de matéria-prima e insumos perigosos, bem como evitar a entrada de materiais não perigosos, mas que geram resíduos perigosos no processo
Práticas operacionais	Mudanças operacionais, de procedimentos e de gestão para reduzir desperdícios
Processos e tecnologias	Mudanças tecnológicas de processo ou de equipamentos para reduzir os desperdícios na produção
Produtos	Mudanças de projeto ou composição buscando expandir a vida útil do produto, facilitando sua reparação e amenizando seu prejuízo ao meio ambiente durante todo o ciclo de vida

Fonte: Adaptado e elaborado a partir de Silva e Silva (2017) e Silva *et al.* (2021)

Por meio da categorização de dimensões, técnicas e ações associadas à P+L, realizou-se a distribuição das pesquisas a partir dos objetivos e dos principais resultados obtidos (Figura 13). Esta distribuição possibilitou identificar a forma como as principais dimensões, técnicas e ações associadas à Produção Mais Limpa foram evidenciadas e apresentadas nos estudos.

Figura 13 – Dimensões, técnicas e ações baseadas na P+L e abordadas nos estudos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Constatou-se que a maior parte dos artigos obtidos neste levantamento (aproximadamente 37%) abordaram aspectos associados à gestão e ao uso eficiente de águas na indústria têxtil. Dentre os estudos englobados neste universo, o de Panda, Sem e Mukhopadhyay (2021) evidencia a importância da adoção de iniciativas de tecnologia, ideias e recursos que incentivem a reciclagem e o reúso da água na indústria têxtil. Os autores supracitados enfatizam que fatores como layout adequado de máquinas, programas de melhoria de qualidade e atualizações tecnológicas de equipamentos de processamento podem ser eficazes.

As ações relacionadas às práticas operacionais na indústria têxtil, enquanto técnicas associadas à Produção Mais Limpa, foram evidenciadas em cerca de 30% dos estudos. Relacionado a esse contexto, a pesquisa realizada por Silva *et al.* (2021) forneceu dados que permitiram observar que a implantação da Produção Mais Limpa pode ser fundamental e influenciar na redução do consumo de produtos químicos e da geração de efluentes, por meio da gestão da água na estação de tratamento, e na reutilização e reciclagem de resíduos e otimização no uso de matérias-primas.

Identificou-se que mais de 15% dos artigos tiveram como objetivo principal a proposta de ações voltadas pra inserção de tecnologias e mudanças de processos ou equipamentos, como forma de abordagem associada à Produção Mais Limpa e, conseqüentemente, com foco no desenvolvimento da sustentabilidade na indústria. Dentre essas ações, pode-se destacar os parâmetros apresentados por Oliveira Neto *et al.* (2019) ao defenderem a substituição de equipamentos antigos por outros novos como uma prática eficiente.

Em relação aos aspectos de matérias-primas e insumos, verificou-se que, aproximadamente, 10% dos estudos analisados evidenciaram perspectivas voltadas ao consumo de materiais, incluindo a substituição e a introdução de novas matérias-primas, bem como o impacto dessas ações na geração de resíduos e no desempenho da indústria. Estudos como o de Pisitsak, Tungsombatvisite e Singhanu (2018) enfatizam a viabilidade do uso de materiais naturais na indústria, evidenciando o potencial destes insumos para minimizar desperdícios e criar processos mais seguros. Para os supracitados, a substituição de substâncias sintéticas nocivas deve fazer parte das estratégias de desenvolvimento sustentável dos fabricantes de têxteis que valorizam produtos com aspectos ambientais.

Constatou-se que cerca de 7% das pesquisas abordaram perspectivas para o desenvolvimento e adequação de produtos, principalmente focadas na composição destes, além dos serviços relacionados, com o objetivo de valorizar a produção sustentável. Autores como Niinimäki e Hassi (2011) evidenciam um conjunto de estratégias de design e fabricação para a indústria têxtil e de vestuário buscando reduzir o impacto ambiental da produção e do consumo. Segundo os supracitados, a curta vida útil dos têxteis, e principalmente do vestuário, é um dos principais problemas do atual sistema industrial baseado na obsolescência programada.

Nesta análise, buscou-se, especificamente, avaliar estudos desenvolvidos que abordassem e tivessem o objetivo de avaliar tecnologias e processos de tratamentos de efluentes têxteis com foco no reúso de águas na indústria. Sendo assim, foram identificados e selecionados 19 artigos e, com isso, analisados os principais aspectos em relação às técnicas, eficiências e principais resultados (Quadro 3).

Quadro 3 – Tecnologias e processos de tratamento de efluentes têxteis para reúso de águas

Tecnologia/Processo de Tratamento	Referência
Ultrafiltração	Majewska-Nowak e Kawiecka-Skowron (2011)
Ultrafiltração e nanofiltração	Aouni <i>et al.</i> (2012)
Nanofiltração + osmose reversa	Kurt <i>et al.</i> (2012)
Nanofiltração direta	Aouni <i>et al.</i> (2014)
Foto-Fenton	Starling <i>et al.</i> (2017)
Tratamento biológico + oxidação avançada	Nadeem <i>et al.</i> (2017)
Ozonização + filtração de areia, ultrafiltração + osmose reversa	Yin <i>et al.</i> (2019)
Ultrafiltração + Nanofiltração	Nadeem <i>et al.</i> (2019)
Osmose Reversa	Sahinkaya <i>et al.</i> (2019)
Destilação por membrana a vácuo e termovaporação	Ramlow <i>et al.</i> (2019)
Destilação por Membrana de Contato Direto	Silva <i>et al.</i> (2020b)
Biorreator de membrana	Yang <i>et al.</i> (2020a)
Eletrocoagulação/Eletrofloculação	Cominote <i>et al.</i> (2020)
Oxidação avançada química/eletroquímica + troca catiônica com macroalgas marinhas para remoção do ferro	Silva <i>et al.</i> (2020a)
Eletrocoagulação/Eletrofloculação	Criado <i>et al.</i> (2020)
Ultrafiltração	Curic <i>et al.</i> (2021)
Processos oxidativos avançados (POAs)	Ramos <i>et al.</i> (2021)
Coagulação/precipitação + microfiltração cerâmica + nanofiltração	Celebi <i>et al.</i> (2021)
Biorreator de Membrana	Yang; Lopez-Grimau (2021)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisou-se que, dentre os estudos verificados, a maior parte evidencia o uso de processos de tratamento por meio uso de tecnologias de membranas, seja de forma unitária ou combinada. Em relação ao aspecto supracitado, pode-se destacar as perspectivas enfatizadas por Curic, Dollar e Karadakic (2021) ao defenderem que a tecnologia de membrana é, de fato, uma das melhores tecnologias disponíveis. Em seu estudo, os autores observaram um alto potencial de reaproveitamento de efluentes têxteis tratados devido à qualidade do tecido de malha de algodão tingido com o permeado de ultrafiltração, que apresentou-se semelhante à da lavagem com a água utilizada convencionalmente no processo. Semelhantemente, Nadeem *et al.* (2019) avaliaram que o tratamento de águas residuais têxteis por meio de arranjos sequenciais de ultrafiltração e nanofiltração podem representar um forte incentivo para a reutilização destes efluentes no processamento úmido na indústria têxtil.

Para Al Sawaf e Karaca (2018), as tecnologias de biorreator de membrana, reator de lote sequencial e reator de lote rotativo são tecnologias concorrentes que podem ser usadas na indústria têxtil como alternativas sustentáveis. Yang *et al.* (2020a) observaram que a qualidade de novos tecidos tingidos com efluente proveniente do tratamento com biorreator de membrana

estava dentro dos limites aceitáveis na indústria têxtil. Evidenciando estes aspectos, Yang e Lopez-Grimau (2021) avaliaram que, comparando-se um sistema de biorreator de membrana com o tratamento convencional de lodo ativado, foi verificada a viabilidade para reduzir o impacto econômico e ambiental em escala industrial.

Em relação ao processo de osmose reversa, Sahinkaya *et al.* (2019) destacaram que a demanda de água de alta qualidade torna essas tecnologias mais atraentes do que as outras alternativas, como o reaproveitamento de efluentes tratados biologicamente, por exemplo, visto que, no último caso, verifica-se, muitas vezes, um alto teor de sais dissolvidos, DQO e cor. No contexto dos tratamentos biológicos, Nadeem, Guyer e Dizge (2017) analisaram que a combinação dessas técnicas com processos de oxidação avançada podem gerar bons resultados em relação ao tratamento e recuperação de efluentes têxteis. Segundo os supracitados, as águas residuais tratadas por meio da combinação foram reutilizadas com segurança para fins de tingimento, contribuindo para a redução de NaCl e Na₂CO₃ no banho de tingimento.

Sobre os processos combinados de tratamento, vale destacar que, por meio dessas técnicas, surge uma alternativa bastante eficiente no processo de remoção dos poluentes presentes nos efluentes têxteis, podendo aumentar a eficiência da degradação orgânica (Garcia; Rosa; Borrelly, 2020). Sendo assim, em relação aos estudos observados neste levantamento bibliométrico, foram destacados processos combinados de tratamento como: ozonização, filtração de areia, ultrafiltração e osmose reversa; oxidação avançada e troca catiônica; coagulação/precipitação, microfiltração cerâmica e nanofiltração.

Nesse contexto, Silva *et al.* (2020a) avaliaram que o efluente têxtil resultante da aplicação do processo de foto-fenton seguido de troca catiônica com *Laminaria hyperborea* foi reutilizado com sucesso em processos de lavagem, branqueamento e tingimento. Por meio do estudo da combinação de processos de ozonização, filtração de areia, ultrafiltração e osmose reversa, Yin *et al.* (2019) identificaram um sistema de tratamento eficaz, onde os efluentes gerados nos processamentos apresentaram aspectos que atendiam aos padrões de reutilização de água. Já Celebi, Dilaver e Kabya (2021), analisando a coagulação/precipitação de pH elevado integrada à microfiltração cerâmica como método de pré-tratamento seguido de nanofiltração (NF) para aumentar a eficiência de recuperação de água, avaliaram que através do sistema pode ser gerado e reciclado um efluente têxtil de alta qualidade na indústria a um custo econômico.

Abordando os aspectos sobre a eletrocoagulação/eletrofoculação, Criado *et al.* (2020) avaliaram que o processo estudado se destacou como um método de tratamento de efluentes eficaz e economicamente competitivo, além de ser uma alternativa promissora para aplicação

na indústria têxtil, principalmente porque o efluente pode ser reaproveitado nas etapas de lavagem do processo de tingimento. Ainda nesse contexto, Cominote *et al.* (2020) analisou que a técnica supracitada pode ter grande eficiência na remoção de substâncias que absorvem a luz na faixa espectral do visível independente das características iniciais do efluente bruto têxtil, além de contribuir para as remoções de turbidez e DQO.

Em relação aos processos oxidativos avançados, como eletro-oxidação, foto-Fenton e oxidação clássica de Fenton, resultados como os apresentados por Ramos *et al.* (2021), evidenciam que esses processos, de fato, são amplamente estudados para o tratamento de efluentes têxteis por se mostrarem promissores, principalmente, devido à alta redução relatada de cor e DQO.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que a investigação bibliométrica realizada, complementada por meio de uma análise sistemática, permitiu um aprofundamento em relação a alguns aspectos elencados nos estudos publicados durante o período de 2010 e 2021. Verificou-se que o número de publicações relacionadas à temática tem sido crescente nos últimos anos, com um aumento progressivo analisado, especialmente, a partir do ano de 2019. Este fato evidencia a importância do assunto e do interesse crescente neste tópico em todo o mundo, assim como a relevância da associação entre Produção Mais Limpa, Ecoeficiência, Reúso de Águas e Sustentabilidade na indústria têxtil.

Analisou-se que a maioria dos estudos relacionados foram concentrados principalmente nas áreas de pesquisa de Ecologia e Ciências Ambientais e de Engenharia, e que Brasil, Turquia, China, Índia e EUA se destacaram como os países mais ativos neste campo. Identificou-se que o universo de autores se apresentou bastante variado e que a densidade da rede de colaboração entre estes ainda é muito baixa, o que pode limitar o desenvolvimento de novos estudos. Com isso, acredita-se que seria relevante uma maior conexão entre autores que trabalham com temáticas específicas elencadas neste estudo, dada a importância do aperfeiçoamento das discussões sobre a associação entre os fatores supracitados e sua aplicação no setor têxtil.

Através da avaliação dos objetivos, dos termos mais recorrentes e das tendências e perspectivas de pesquisa abordadas nos estudos obtidos, compreendeu-se que aspectos como Produção Mais Limpa e Reúso de Águas são, de fato, extremamente importantes e que devem ser tratados com aprofundamento nos estudos sobre sustentabilidade. Esta avaliação permitiu entender que a Produção Mais Limpa, em suas dimensões e técnicas, influencia em melhorias

operacionais, na implantação de processos, tecnologias e matérias-primas cada vez mais sustentáveis, assim como na redução da geração de resíduos perigosos, no desenvolvimento de produtos ecológicos duráveis e na gestão eficiente dos recursos hídricos. Em relação às tecnologias associadas ao reúso de águas e sua implantação e desenvolvimento na indústria têxtil, identificou-se que as técnicas estudadas e adotadas nos últimos anos têm contribuído e se apresentam necessárias à busca por possibilitar a qualidade de águas residuais têxteis tratadas conveniente para outros fins na própria indústria.

Embora este estudo tenha revelado tendências e características, é importante considerar a existência de limitações. Dentre estas, pode-se destacar o fato de ser utilizada apenas uma plataforma de base de dados e, com isso, acredita-se que em trabalhos futuros pode ser considerada a inclusão de novas fontes. É importante considerar, também, a associação entre os termos e palavras-chave de pesquisa, pelo fato destes serem específicos e este fator poder influenciar na constituição das redes de conexão bibliométricas, por exemplo, e na avaliação das informações. Além disso, a análise de tendências sobre a Produção Mais Limpa e as tecnologias de tratamento de efluentes têxteis associadas ao reúso de águas pode ser mais abrangente a partir de investigações específicas sobre cada uma das temáticas.

Contudo, acredita-se que este escrito permitiu uma discussão abrangente e importante sobre os fatores Produção Mais Limpa, Ecoeficiência e Reúso de Águas associados à Sustentabilidade na indústria têxtil. Avalia-se, ainda, que as descobertas aqui apresentadas fornecem mais perspectivas para uma compreensão sobre o desenvolvimento da pesquisa em relação ao assunto.

CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão evidenciados os aspectos metodológicos utilizados para à realização do estudo. O desenvolvimento da pesquisa se deu, de maneira geral, em quatro etapas e englobou as atividades apresentadas a seguir, de forma a atingir os objetivos propostos (Quadro 4).

Quadro 4 – Esquema geral das atividades desenvolvidas na pesquisa

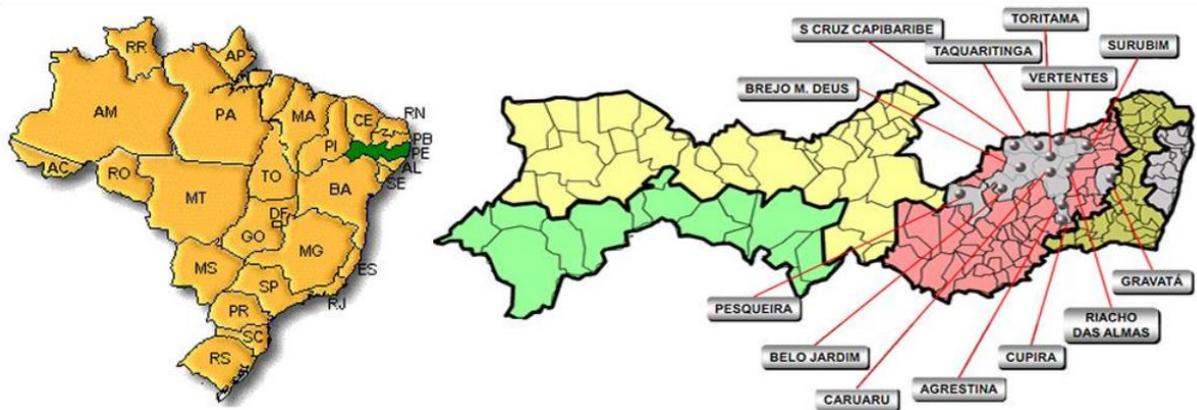
<p style="text-align: center;">ETAPA 1 (Objetivo específico 1)</p> <p style="text-align: center;">Estudo de campo – Avaliação do uso da água e da geração de efluentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e caracterização do processo produtivo de beneficiamento na lavanderia; • Levantamento das principais fontes e causas de geração de efluentes, resíduos sólidos e emissões associadas ao beneficiamento na lavanderia; • Quantificação do uso de água e da geração de efluentes em processos de lavagem realizados na lavanderia.
<p style="text-align: center;">ETAPA 2 (Objetivo específico 2)</p> <p style="text-align: center;">Caracterização de águas, efluentes e resíduos sólidos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterização das águas utilizadas nas lavagens, dos efluentes gerados em processos específicos de lavagem, assim como os efluentes provenientes no processo produtivo geral da lavanderia (a nível de fim de tubo); • Avaliação das características do efluente tratado na ETE da lavanderia e da eficiência de tratamento; • Análise do lodo têxtil gerado no tratamento de efluentes na lavanderia.
<p style="text-align: center;">ETAPA 3 (Objetivo específico 3)</p> <p style="text-align: center;">Possibilidades para a tratabilidade dos efluentes – Testes de bancada em laboratório</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realização de testes de coagulação/floculação utilizando sulfato de alumínio e policloreto de alumínio, como coagulantes, sob diferentes dosagens; • Realização de testes de coagulação/floculação combinada à adsorção, utilizando sulfato de alumínio e policloreto de alumínio, como coagulantes, e carvão ativado, como adsorvente, sob diferentes dosagens; • Avaliação da eficiência dos tratamentos aplicados e das características do efluente tratado.
<p style="text-align: center;">ETAPA 4 (Objetivo específico 4)</p> <p style="text-align: center;">Cenários para o reúso de águas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação de possíveis rotas tecnológicas, ensaios de tratabilidade e estudo de modificações na coleta e no transporte de efluentes ao longo dos processos de lavagem; • Construção de possíveis cenários de reúso de águas ao longo dos processos de lavagem.

4.1 ÁREA DE ESTUDO E LÓCUS DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida na região do Arranjo Produtivo Local (APL) de Confecções de Pernambuco, especificamente no Polo Têxtil do Agreste do Estado (Figura 14). Esta região

é composta por empresas localizadas em municípios que possuem uma produção especializada na indústria têxtil.

Figura 14 – Localização dos municípios do APL de Confecções do Agreste - PE



Fonte: Santos (2012)

No âmbito do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, o processo de beneficiamento das peças jeans se destaca como um segmento de grande importância para o desenvolvimento e para a produção das peças de vestuário. Segundo Guimarães *et al.* (2018), cerca de 4,8 milhões de peças jeans são produzidas mensalmente no APL do Agreste do Estado, onde estas são processadas em lavanderias.

Os municípios de Caruaru e Toritama destacam-se como centros de grande relevância no APL do Agreste de Pernambuco, no que diz respeito à produção de jeans no Estado e no Brasil, principalmente no beneficiamento e acabamento das peças. Em Caruaru predomina a confecção de peças infanto-juvenil e para adultos, enquanto no município de Toritama há a predominância da confecção de peças com fino acabamento para adultos. Juntos, os dois municípios são responsáveis por mais de 80% das peças que são beneficiadas nas lavanderias do Polo Têxtil (Guimarães *et al.*, 2018).

Sendo assim, este estudo teve, como lócus de pesquisa, uma das empresas que integram o Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco e que está localizada no município de Caruaru. A seleção da lavanderia foi determinada com base na acessibilidade, no porte da empresa e em características que permitiram o desenvolvimento do estudo. Além disso, a escolha objetivou, também, atender aos critérios preconizados pelo projeto “Fortalecimento do Polo Industrial Têxtil do Agreste de Pernambuco”, no qual esta pesquisa esteve inserida.

A empresa estudada localiza-se no município de Caruaru, região Agreste do Estado de Pernambuco. A unidade industrial está enquadrada na tipologia de “Acabamentos em fios,

tecidos e artefatos têxteis”, cuja atividade consiste no beneficiamento têxtil de peças do vestuário (lavanderia), conforme Licença de Operação emitida pela Agência Estadual de Meio Ambiente.

A lavanderia realiza um processamento médio mensal de cerca de 250.000 peças, sendo a maioria destas voltadas ao segmento infantil. Com cerca de 55 funcionários, a empresa supracitada trabalha, principalmente, com dois tipos de tecidos, que são o jeans e o algodão PT (Pronto para Tingir).

4.2 FONTES DE GERAÇÃO DE CORRENTES DE EFLUENTES

4.2.1 Análise e caracterização do processo produtivo

Inicialmente, foi realizada uma caracterização geral da lavanderia e dos principais aspectos relacionados à situação ambiental da empresa. A caracterização foi efetuada a partir do levantamento de dados referentes aos aspectos de identificação, onde foram realizadas entrevistas semiestruturadas que possibilitaram a coleta de informações gerais da lavanderia, como o número de funcionários, setores, áreas e localização da empresa.

A metodologia de análise e diagnóstico consistiu no detalhamento da linha de produção e no levantamento de informações sobre o processo produtivo, bem como o layout das instalações, onde foram verificados detalhes *in loco* através de observações de campo, *checklists* e entrevistas com responsáveis pela produção. Também foram utilizados dados secundários, documentais da empresa e dados bibliográficos. No levantamento de dados do processo, foram coletadas informações em relação aos principais produtos, subprodutos e serviços.

4.2.2 Identificação de efluentes, resíduos sólidos e emissões associados à produção

A partir da análise e do diagnóstico do processo produtivo, com o objetivo de investigar as fontes de geração de efluentes, resíduos sólidos e emissões, assim como as perdas de energia, além de verificar como se dá a ocorrência destas, buscou-se identificar e caracterizar as principais fontes e causas relacionadas à geração de resíduos, emissões e perdas de energia na lavanderia. Para isso, foram analisadas as matérias-primas, tecnologias, práticas operacionais e resíduos.

Através do levantamento de informações, foram gerados fluxogramas de processos constando de entradas e saídas, onde as entradas consideradas foram as matérias-primas, insumos, auxiliares e energia, e as saídas foram os subprodutos, resíduos, efluentes e emissões. Por meio da análise das principais entradas e saídas associadas aos processos produtivos, tendo como foco os principais resíduos e emissões gerados nas atividades da lavanderia, identificou-se as fontes evidentes de impactos e os impactos ambientais provenientes das atividades e processos englobados na lavanderia.

4.2.3 Quantificação do uso da água e da geração de efluentes

Para a quantificação do consumo de água e geração de efluentes gerados foram monitoradas as linhas de produção e observados aspectos como processo de fabricação, resíduos gerados, volume de água utilizado em cada linha de produção e quantificação do efluente gerado.

A estimativa do volume de água em processos específicos de lavagem foi realizada com base nas relações de banho consideradas em cada etapa do processo. Nesse sentido, verificou-se o uso de água nos processos mais significativos de lavagens realizados diariamente na lavanderia. A partir disso, foi estimado o volume de efluentes gerados nos processos correspondentes.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS, EFLUENTES E RESÍDUOS SÓLIDOS

Todos os procedimentos de coleta e caracterização das águas, efluentes e resíduos sólidos, assim como os de armazenamento e preservação das amostras e as análises físico-químicas realizadas, seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

Entenda-se como processo específico, o efluente proveniente apenas da etapa de lavagem, ou seja, a água residual coletada na saída das máquinas lavadoras após cada uma das descargas que ocorre ao longo de um processo de lavagem.

A caracterização dos efluentes foi realizada com o objetivo de conhecer, principalmente, as características qualitativas dos efluentes gerados no processo produtivo geral da lavanderia. Além disso, realizou-se a caracterização do efluente tratado na ETE da lavanderia, assim como verificou-se os aspectos das águas do corpo hídrico utilizado como destinação final para os efluentes tratados (Quadro 5).

Foram realizadas três coletas, alternadas entre os meses de março e junho de 2022. As amostras foram coletadas em recipientes plásticos previamente identificados, sendo posteriormente armazenadas e refrigeradas no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFRPE até o momento das análises.

Quadro 5 – Descrição dos pontos de amostragem utilizados na coleta de campo

Amostra	Ponto	Descrição
Água bruta	AG	Água utilizada nos processos de lavagem – entrada das máquinas de lavagem
Efluente de processo	DES	Descarga do efluente da etapa de desengomagem – saída da máquina de lavagem
	EST	Descarga do efluente da etapa de estonagem – saída da máquina de lavagem
	EST – E1	Descarga do efluente de enxágue da etapa de estonagem – saída da máquina de lavagem
	CLA	Descarga do efluente da etapa de clareamento – saída da máquina de lavagem
	CLA – E1	Descarga do efluente do 1º enxágue da etapa de clareamento – saída da máquina de lavagem
	CLA – E2	Descarga do efluente do 2º enxágue da etapa de clareamento – saída da máquina de lavagem
	NEU	Descarga do efluente da etapa de neutralização – saída da máquina de lavagem
	NEU – E1	Descarga do efluente do 1º enxágue da etapa de neutralização – saída da máquina de lavagem
	NEU – E2	Descarga do efluente do 2º enxágue da etapa de neutralização – saída da máquina de lavagem
	LIM	Descarga do efluente da etapa de limpeza – saída da máquina de lavagem
	LIM – E1	Descarga do efluente do 1º enxágue da etapa de limpeza – saída da máquina de lavagem
	LIM – E2	Descarga do efluente do 2º enxágue da etapa de limpeza – saída da máquina de lavagem
AMA	Descarga do efluente da etapa de amaciamento – saída da máquina de lavagem	
Efluente Bruto Geral	EBG	Efluente bruto gerado em todo o processo produtivo da lavanderia – tanque de equalização da ETE
Efluente Tratado Geral	ETG	Efluente tratado na ETE da lavanderia – ponto de descarga na saída da ETE

Os parâmetros analisados, bem como os métodos utilizados para a caracterização, foram empregados de acordo com procedimentos específicos (Quadro 6).

Quadro 6 – Descrição dos parâmetros e métodos de caracterização das amostras

Parâmetro	Amostra	Método – Referência^a
Cor	Água bruta, efluentes	2120 D
Turbidez	Água bruta, efluentes	2130 B
DQO	Água bruta, efluentes	5220 D
ST, STF, STV	Água bruta, efluentes	2540 C
pH	Água bruta, efluentes	4500-H+ B
Alcalinidade total	Água bruta, efluentes	2320 B
Condutividade elétrica	Água bruta, efluentes	2510 B
Salinidade	Água bruta, efluentes	2520 B
Dureza Total	Água bruta, efluentes	2340 C
Metais	Água bruta, efluentes, lodo têxtil	ICP – OES

Nota: (a) APHA, 2017

A caracterização das amostras foi realizada no Laboratório de Saneamento Ambiental e no Laboratório de Física do Solo, ambos na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), assim como no Laboratório Industrial da Companhia Alcoolquímica Nacional (Grupo JB) e no Laboratório de Química da UFRN. Todas as medições foram realizadas em triplicatas, para determinação de resultados médios estatisticamente confiáveis.

A determinação dos metais nas amostras se deu a partir da análise de espectrofotometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Essa análise foi realizada no Laboratório de Química, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Para determinação dos metais nas amostras, foi utilizado um espectrômetro da Thermo Fisher Scientific (Bremen, Alemanha), modelo iCAP 6300 Duo, com vista axial e radial e detector simultâneo CID (Charge Injection Device). Argônio comercial com pureza de 99,996% (White Martins-Praxair) foi utilizado para purgar a óptica, geração do plasma e como gás de nebulização e auxiliar. Potência da fonte de radiofrequência, 1150 W. Número de replica igual a 3, vazão do gás nebulizador e do auxiliar ($0,5 \text{ L min}^{-1}$). No sistema de introdução de amostra, foi utilizado um nebulizador Burgener Mira Mist e câmara de nebulização do tipo ciclônica. Os comprimentos de onda escolhidos no ICP OES variaram de acordo com o elemento analisado.

4.3.1 Avaliação do tratamento de efluentes

A avaliação do tratamento de efluentes consistiu na análise da eficiência do tratamento convencionalmente realizado na lavanderia estudada. Para isso, foram calculadas as eficiências de remoção, considerando os parâmetros analisados e observando os aspectos do efluente

tratado em relação ao efluente bruto. Com base nisso, realizou-se uma comparação entre os índices de eficiência obtidos no tratamento realizado na ETE da lavanderia e o que é preconizado pelas legislações federal (CONAMA nº 430/2011) e estadual (Nota Técnica CPRH nº 2001), no que diz respeito aos padrões para a destinação e lançamento dos efluentes tratados.

As condições operacionais da ETE também foram analisadas, de acordo com as unidades de tratamento que compõem o sistema, assim como os produtos utilizados no tratamento e as características do lodo têxtil gerado. Para isso, foram observados detalhes *in loco* e realizados levantamentos por meio de entrevistas semiestruturadas aos responsáveis pela operação da ETE na lavanderia.

4.3.2 Análise do lodo têxtil gerado no tratamento de efluentes

A caracterização do lodo têxtil foi realizada em laboratório, onde investigou-se os metais presentes no resíduo. A determinação dos metais nas amostras se deu a partir da análise de espectrofotometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Os procedimentos metodológicos realizados foram semelhantes aos apresentados anteriormente no item 4.4.2.

4.4 TESTES DE OTIMIZAÇÃO NA TRATABILIDADE DE EFLUENTES

Buscando analisar alternativas para o tratamento físico-químico dos efluentes têxteis gerados na lavanderia, assim como investigar possibilidades de melhorias e ampliação da qualidade no tratamento existente, realizou-se alguns testes de coagulação/floculação e coagulação/floculação associada à adsorção com amostras de efluente têxtil do processo produtivo da lavanderia. A escolha desses tipos de tratamento se deu devido à facilidade de aplicação no contexto de lavanderias de pequeno porte, além de serem observados, na literatura, resultados satisfatórios e melhorias consideráveis na qualidade do efluente tratado por meio desses processos.

4.4.1 Efluente têxtil

O efluente têxtil utilizado no estudo de tratamento físico-químico complementar foi obtido na lavanderia estudada, por meio de uma nova coleta realizada em agosto de 2022. O ponto de coleta foi o tanque de equalização da ETE da lavanderia. A caracterização do efluente

foi realizada no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFRPE, onde as características físico-químicas foram consideradas para a avaliação dos tratamentos aplicados (Quadro 6).

4.4.2 Teste de coagulação/floculação e coagulação/floculação combinada à adsorção

Os testes englobaram quatro tipos de tratamentos aplicados ao efluente têxtil bruto, sendo dois tratamentos realizados por coagulação/floculação e dois realizados por coagulação/floculação combinada à adsorção. Os testes foram realizados em um equipamento Jar-Test microcontrolado, para avaliar a eficiência dos diferentes tratamentos e dosagens aplicadas.

Para o processo dos ensaios de coagulação/floculação foram utilizados dois tipos de coagulantes químicos inorgânicos: Sulfato de Alumínio (1%); e Policloreto de Alumínio – PAC (15%). Considerando os aspectos apresentados por Marchetto e Ferreira Filho (2005), realizou-se, também, a aplicação da adsorção simultânea ao processo de coagulação/floculação. Para isso, utilizou-se o carvão ativado em pó comercial, como adsorvente, onde a aplicação se deu diretamente junto ao efluente bruto durante o processo de mistura rápida no Jar-Test.

O arranjo experimental para os tratamentos aplicados foi definido de acordo com as características apresentadas a seguir (Tabela 7). A variação na faixa de dosagens do Sulfato de Alumínio foi definida a partir das concentrações médias utilizadas no tratamento de efluentes na própria lavanderia. Em relação ao PAC, realizou-se uma avaliação preliminar de diferentes dosagens e considerou-se a faixa de variação apresentada a seguir. Em relação ao carvão ativado, as dosagens foram determinadas com base na literatura, considerando estudos de adsorção realizados como efluentes têxteis.

Tabela 7 – Arranjo experimental dos testes de tratabilidade dos efluentes

COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO		COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO + ADSORÇÃO			
Tratamento C1	Tratamento C2	Tratamento CA1		Tratamento CA2	
Sulfato de Alumínio (mg/L)	Policloreto de Alumínio (mg/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)	Carvão Ativado (g/L)	Policloreto de Alumínio (mg/L)	Carvão Ativado (g/L)
100	60	100	0,5	60	0,5
		150	0,5	90	0,5
150	90	200	0,5	120	0,5
		250	0,5	150	0,5
200	120	300	0,5	200	0,5
		350	0,5	250	0,5
250	150	100	1,0	60	1,0
		150	1,0	90	1,0
300	200	200	1,0	120	1,0
		250	1,0	150	1,0
350	250	300	1,0	200	1,0
		350	1,0	250	1,0

Em cada ensaio utilizou-se 1 litro de efluente têxtil bruto por recipiente do Jar-Test. Após a etapa de decantação, as amostras foram coletadas e filtradas para a análise dos parâmetros. O ensaio e as condições operacionais do Jar-Test foram definidos de acordo com as normativas que estabelecem os parâmetros para a realização de testes de coagulação/floculação no tratamento de águas e efluentes (Tabela 8).

Tabela 8 – Parâmetros operacionais do ensaio no Jar-Test

ETAPA	VELOCIDADE	TEMPO
Mistura rápida	150 rpm	1 minuto
Mistura lenta 1	60 rpm	30 minutos
Mistura lenta 2	30 rpm	15 minutos
Decantação	–	20 minutos

4.4.3 Análise dos dados e avaliação das eficiências

A partir da realização dos testes, as amostras obtidas foram submetidas a análises para avaliar as eficiências dos tratamentos aplicados e as características do efluente tratado. A avaliação da eficiência dos tratamentos considerou os parâmetros de cor, turbidez e STV, comparando-se as características do efluente tratado em relação ao efluente bruto.

Todas as amostras foram analisadas em triplicata para a determinação de resultados médios estatisticamente confiáveis. O tratamento estatístico foi determinado através da análise de médias, onde realizou-se uma comparação por meio do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

4.5 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS PARA O REÚSO DE ÁGUAS

A definição dos cenários para o reúso de águas na lavanderia considerou possíveis modificações na coleta, transporte e tratamento de efluentes ao longo dos processos de lavagem. Para isso, realizou-se uma análise quantitativa, onde estimou-se o consumo e a redução na demanda de água a partir de três cenários. Para realizar esta estimativa e a construção dos possíveis cenários para o reúso, considerou-se o consumo de água e a geração de efluentes a partir de um processo específico de lavagem, o “Cristal”, tendo como base as etapas realizadas na lavanderia para esse processo.

Considerando a demanda de água por quilograma de roupa seca nesse processo, avaliou-se o consumo de água e a geração dos efluentes em uma rodada de lavagem onde são processados 60 kg de roupa seca. Com isso, determinou-se os volumes de água no processo como um todo, assim como nas etapas-chave e nos enxágues, realizando-se um balanço hídrico dos processos envolvidos.

Sendo assim, os cenários de reúso considerados foram os seguintes:

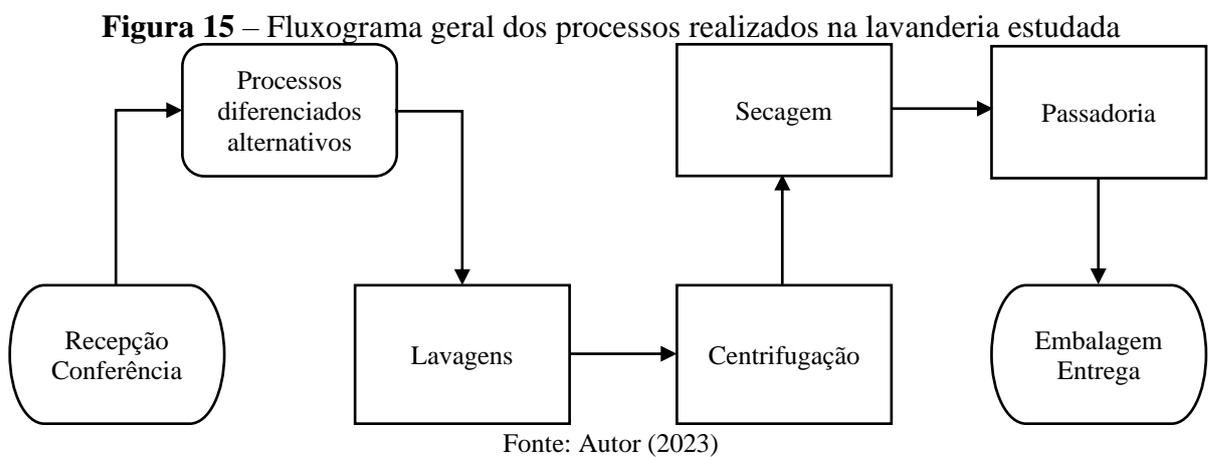
- Cenário 1: considerou-se os aspectos evidenciados por Silva Filho *et al.* (2021b), ao destacarem que no contexto das lavanderias de Caruaru que realizam o reúso de água, a maioria adota o reúso de água até 50% e que a prática de reúso adotada se dá através do aproveitamento dos efluentes tratados, cujo volumes são encaminhados para o reservatório de abastecimento para serem misturados com água bruta e posterior uso no processo de beneficiamento. Nesse sentido, a estimativa foi realizada considerando o uso do efluente tratado geral para os processos de lavagem;
- Cenário 2: considerou-se o reúso a partir dos efluentes gerados nas etapas de enxágue, incluindo a realização de tratamentos auxiliares para as águas residuais;
- Cenário 3: considerou-se o reúso a partir dos efluentes gerados apenas nos segundos enxágues, sem a necessidade de tratamentos auxiliares.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DA GERAÇÃO DE EFLUENTES

5.1.1 Análise e caracterização do processo produtivo

Os processos de produção realizados na lavanderia estudada englobam as etapas que comumente são realizadas no contexto do APL do Agreste de Pernambuco (Figura 15).



A primeira etapa do processo produtivo na lavanderia consiste na recepção das peças, onde são especificados os tipos de processamento a serem utilizados. Após o recebimento, é realizada a conferência das peças, onde verifica-se o número de itens recebidos e, então, efetua-se a pesagem e a separação, assim como a etiquetagem dos lotes (Figura 16).

Figura 16 – Recepção e conferências das peças



Fonte: Autor (2023)

Processos alternativos específicos, geralmente físicos, são incluídos durante as etapas de produção nas lavanderias e são realizados de acordo com a exigência de cada cliente. Esses processos consistem na aplicação de efeitos na peça “crua” e antecedem o processamento químico, ocorrendo, muitas vezes, de forma manual. Dentre esses processos, pode-se citar os bigodes, o fix pin, o used, o lixado, os puídos, os rasgados e detonados (Figura 17). Se nenhum tipo de tratamento alternativo é solicitado, as peças são encaminhadas diretamente para a área das lavagens.

Figura 17 – Processos alternativos



Fonte: Autor (2023)

As lavagens ocorrem em bateladas e englobam a entrada das peças, aquecimento das máquinas, entrada de produtos, entrada de água, enxágues e saída de efluentes. Na lavanderia estudada, os tipos de produtos utilizados nas lavagens variam de acordo com a etapa. O processo “delavê”, por exemplo, tem como característica o uso de cloro como agente químico na etapa de clareamento, enquanto, para o “cristal”, utiliza-se, na mesma etapa, o permanganato de potássio. Outro aspecto que pode ser observado de acordo com o tipo de lavagem, é a variação, entre um processo e outro, em relação à quantidade dos enxágues. De maneira geral, o volume de água utilizado nas lavagens e a quantidade de produtos adicionados em cada etapa do processo também são diferenciados, considerando o peso do conjunto de peças secas que são inseridas nas máquinas.

Após as lavagens, as peças são encaminhadas para a etapa da centrifugação, onde ocorre a retirada do excesso de água nas centrífugas (Figura 18a). Por sua vez, para que haja a remoção total da água nas peças, estas são submetidas à vaporização térmica em máquinas secadoras (Figura 18b).

Figura 18 – Máquinas de centrifugação e secagem



Fonte: Autor (2023)

Na passadoria, realiza-se a eliminação de vincos e dobras das peças através do vapor d'água (Figura 19a). Por fim, na expedição final, ocorre a revisão das peças (Figura 19b) e a embalagem, antes da entrega aos clientes (Figura 19c).

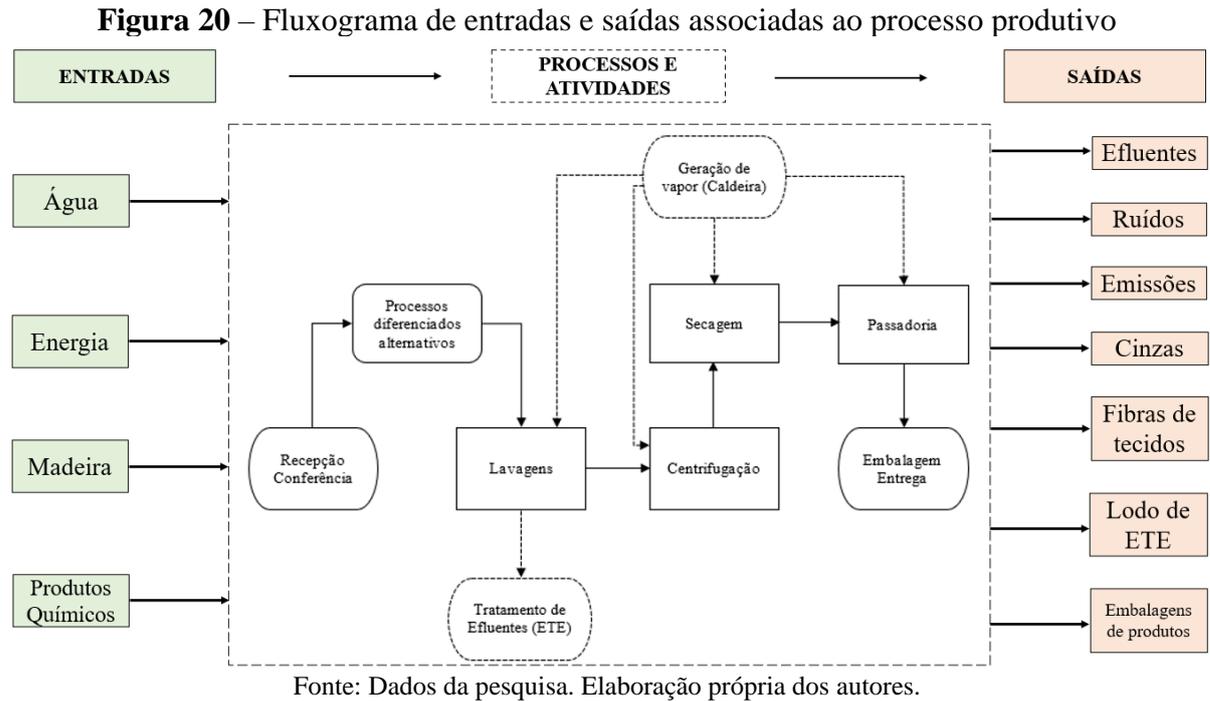
Figura 19 – Passadoria e expedição final das peças



Fonte: Autor (2023)

5.1.2 Principais fontes e causas de geração de efluentes, resíduos sólidos e emissões

Tendo como base as atividades desenvolvidas na lavanderia, analisou-se as entradas e saídas associadas ao processo produtivo (Figura 20). A etapa de processamento (processos e atividades) inclui todas as tarefas que são efetuadas e geram transformação das entradas.



As principais entradas associadas aos processos e atividades na lavanderia foram água, energia, madeira (lenha) e produtos químicos. Estas constituem-se nos principais produtos, materiais e fontes necessárias para o funcionamento das principais atividades e processos essenciais na empresa, ou seja, matérias-primas, insumos e energia. Por sua vez, as saídas incluíram os subprodutos, resíduos, efluentes e emissões obtidos a partir do beneficiamento, ou seja, os materiais que saem do processo de transformação.

Entender como as entradas e saídas estão relacionadas à cada etapa do processo, de forma específica, torna-se importante pois possibilita uma esquematização e uma análise global do processo de forma mais significativa e contribui para a uma investigação mais detalhada das fontes e dos impactos ambientais potenciais associados à produção. Nesse sentido, as entradas e saídas analisadas na lavanderia foram especificadas de acordo com o processo, etapa ou atividade (Figura 21).

Figura 21 – Fluxograma de entradas e saídas por processo/etapa/atividade

Entradas		Processos/Etapas/Atividades		Saídas
Água Energia Produtos químicos	→	Lavagens	→	Efluentes Ruídos Emissões Embalagens de produtos
Energia	→	Processos diferenciados alternativos	→	Ruídos Fibras de tecidos
Energia	→	Centrifugação	→	Ruídos Efluentes
Energia	→	Secagem	→	Ruídos Fibras de tecidos
Energia	→	Passadoria	→	Emissões
Efluentes Energia Produtos químicos	→	Tratamento de efluentes (ETE)	→	Efluentes tratados Lodo têxtil Embalagens de produtos
Madeira (lenha)	→	Produção de vapor (caldeiras)	→	Ruídos Emissões Cinzas

Fonte: Dados da pesquisa. Elaboração própria do autor (2023).

Os efluentes têxteis gerados na lavanderia são formados a partir da combinação das águas residuais provenientes de diferentes etapas do processo produtivo, sendo a maior quantidade oriunda dos processos de lavagem. A geração dos maiores volumes de efluentes têxteis ocorre na saída das máquinas de lavagem e, por meio de um sistema de drenagem, estas águas residuais são encaminhadas para a ETE, onde a entrada no sistema de tratamento se dá através do tanque de equalização (Figura 22).

Figura 22 – Geração de efluentes têxteis

Fonte: Autor (2023)

Os ruídos estão associados ao funcionamento do maquinário na lavanderia. Estes contribuem, principalmente, para o comprometimento da saúde ocupacional e, interferindo no meio ambiente, causam incômodos aos funcionários, podendo gerar desconfortos relacionados a transtornos e estresse.

As emissões consideradas foram, principalmente, os poluentes atmosféricos provenientes da queima de lenha na caldeira, assim como as emissões odorantes e de vapor associadas ao uso de alguns produtos químicos durante as lavagens, ao tratamento de efluentes e à etapa de passadoria. A geração de odor e vapor ocorre, principalmente, durante a execução das etapas de lavagens e passadoria. Nas lavagens, o uso de alguns produtos químicos combinado com temperaturas mais altas da água utilizada, influenciam na geração de vapor nas máquinas, além da exalação de odor. Um aspecto observado, também, é o aumento da temperatura no ambiente durante a execução das atividades. Na etapa de passadoria, a geração de vapor e o aumento de temperatura se dão, principalmente, pela utilização dos equipamentos (ferros de passar) que são utilizados durante o processo. Vale destacar que a atividade de tratamento de efluentes também acaba gerando odores. Diante disso, evidencia-se que, tanto a geração de odor quanto a de vapor, contribuem para o comprometimento da saúde ocupacional, além de causar incômodos aos funcionários.

Considerou-se que o processo de geração de vapor nas caldeiras também é responsável pela geração de resíduos de cinzas da queima de lenha. A queima de lenha é a ação que ocorre na etapa de geração de vapor nas caldeiras e gera o resíduo constituído pelas cinzas (Figura 23). A madeira utilizada é, geralmente, proveniente de lenha de espécie exótica e a compra é realizada com nota. Contudo, verifica-se a ausência de filtros em algumas caldeiras, conforme regulamentação exigida pelo órgão ambiental competente.

Figura 23 – Queima de madeira e geração de cinzas



Fonte: Autor (2023)

Nas lavanderias têxteis, as caldeiras são as principais responsáveis pelas emissões atmosféricas. No funcionamento destes equipamentos são gerados materiais particulados sob a forma de cinzas e de fuligem. Dentre os gases, incluem-se o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e monóxido de carbono (SANTOS *et al.*, 2018).

Sendo assim, aspectos como o uso de recursos naturais, e consequente comprometimento da biodiversidade, assim como a alteração da qualidade do ar devido às emissões atmosféricas de poluentes, e a geração de fumaça que acaba causando incômodos aos funcionários e à população, elencam entre os possíveis impactos ambientais da atividade de queima de madeira para a geração de vapor.

A geração de cinzas também está associada à atividade de obtenção de vapor nas caldeiras, como consequência da queima de lenha que é realizada. Nesse sentido, a geração de resíduos sólidos torna-se uma das principais fontes de impacto relacionada a esta atividade, e o risco de contaminação ambiental e comprometimento da biodiversidade podem impactar a qualidade do meio ambiente, de acordo com o gerenciamento e a destinação que são realizados para estes resíduos.

Os resíduos de fibras de tecidos são obtidos, em sua maior parte, da etapa de secagem e ficam acondicionados nas máquinas secadoras. Caracterizados como um dos principais resíduos sólidos gerados nas lavanderias, os fiapos e fibras constituem-se em restos de tecido (Figura 24). Apesar e algumas lavanderias não realizarem uma quantificação deste tipo de material, analisa-se que a quantidade gerada é representativa, principalmente devido ao fato de que todas as peças passam pelo processo de secagem, contribuindo para a formação dos resíduos. Com isso, acredita-se que o risco de contaminação ambiental é o principal impacto ambiental que pode estar associado aos resíduos de fiapos e fibras de tecido nas lavanderias têxteis.

Figura 24 – Resíduos de fiapos e fibras de tecidos



Fonte: Autor (2023)

O lodo têxtil (lodo de ETE) é oriundo do tratamento de efluentes e caracteriza-se como o principal resíduo sólido gerado pelas lavanderias têxteis. Na lavanderia estudada, o lodo é disposto em leitos de secagem e, em seguida, armazenado em sacos plásticos, à granel, tendo como destinação um aterro industrial localizado no município onde encontra-se a lavanderia (Figura 25). De acordo com a normativa da ABNT, o lodo têxtil é classificado como um resíduo não perigoso (Classe II), conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004). Apesar disso, é importante considerar que esse resíduo caracteriza-se por ser constituído por poluentes orgânicos e inorgânicos, com destaque para os metais pesados, corantes e sais precipitados (Neves; Abrahão, 2018).

Figura 25 – Aspectos do lodo têxtil gerado no tratamento de efluentes



Fonte: Autor (2023)

As embalagens de produtos são obtidas em etapas auxiliares ao beneficiamento, isso porque estas armazenam as substâncias químicas que são utilizadas nas etapas de lavagem e tratamento de efluentes. O armazenamento de produtos perigosos consiste nos procedimentos que são realizados para o manuseio dos produtos químicos utilizados, principalmente, nos processos de lavagens da lavanderia e no tratamento de efluentes têxteis. As embalagens provenientes do processo são recipientes que armazenam produtos como permanganato, metabissulfito, hidróxido de sódio, sulfato de alumínio, enzimas, cloro, ácidos, dentre outros (Figura 26).

Figura 26 – Armazenamento de produtos químicos



Fonte: Autor (2023)

Nesse sentido, o armazenamento de produtos químicos e a destinação realizada para as embalagens que armazenam estes produtos são fontes que impactam o meio ambiente sob os aspectos de contaminação ambiental, além do comprometimento da saúde ocupacional e riscos de acidentes.

5.1.3 Consumo de água e geração de efluentes e resíduos associados

Considerando a variabilidade de processos de lavagem que ocorrem na lavanderia, analisou-se o consumo de água em quatro processos que se destacam dentre os mais realizados, assim como alguns dos que são caracterizados por apresentarem grandes demandas de água, conforme observa-se a seguir (Tabela 9).

Por meio dos dados evidenciados, observa-se que os processos realizados na lavanderia demandam uma quantidade expressiva de água, podendo chegar a um consumo de 140 litros por kg de roupa seca processada. Vale ressaltar que a variabilidade desses processos e a ocorrência destes dificulta a realização de uma estimativa geral do consumo de água diário e/ou mensal na lavanderia.

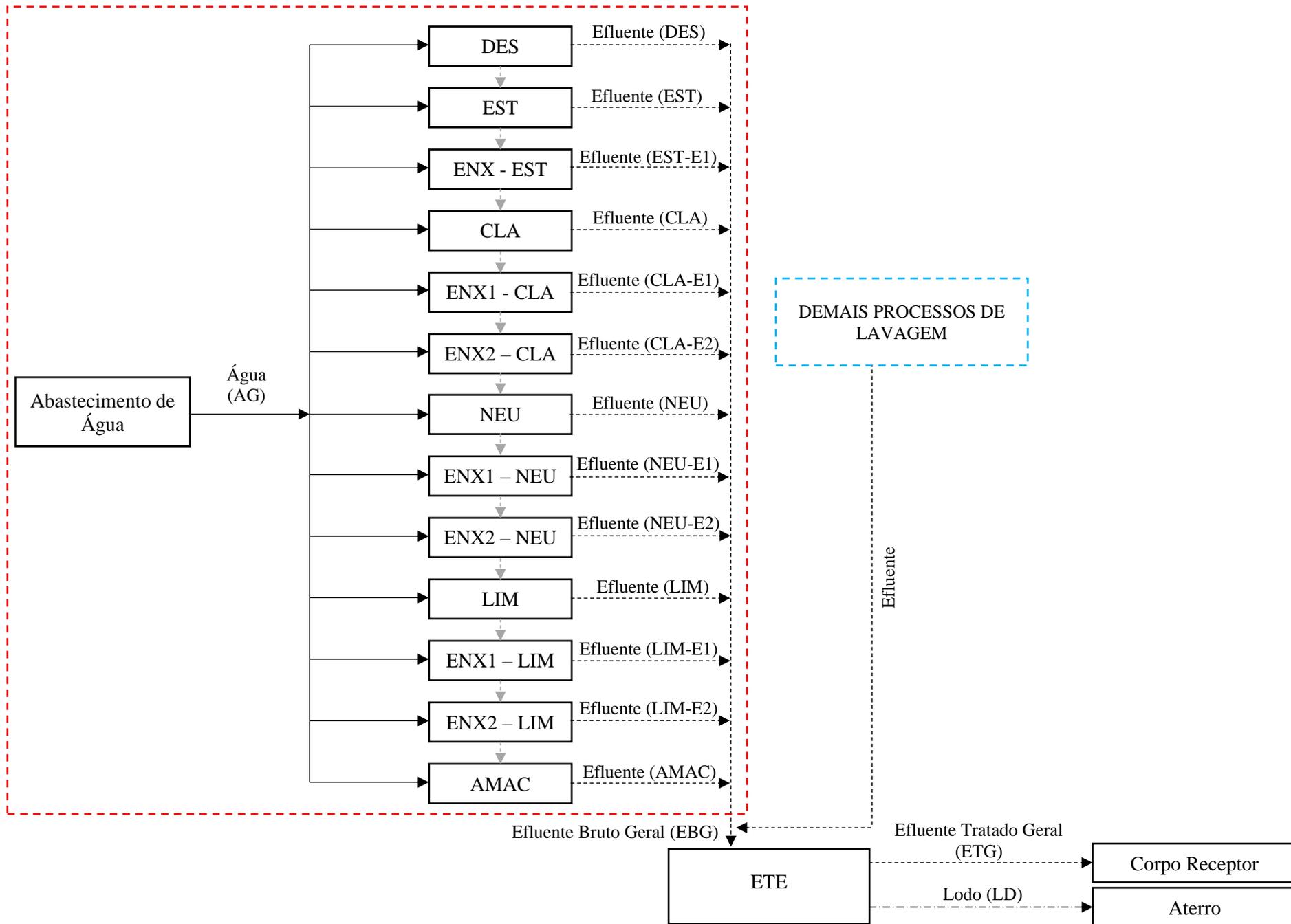
Um aspecto importante de ser evidenciado é o fato de que, nos processos de lavagem comumente realizados na lavanderia, mais de 60% do volume de água utilizado são direcionados para a realização dos enxágues. Por este motivo, muitas vezes algumas etapas de enxágue acabam sendo suprimidas do processo. Esta suspensão pode acarretar consequências e influenciar na qualidade do produto acabado.

Tabela 9 – Consumo de água em processos de lavagem

ETAPA	CONSUMO DE ÁGUA POR PROCESSO (litros/kg de roupa seca)			
	Cristal	Delavê	Destroyed	Tingimento
Desengomagem	10	10	10	10
Enxágue 1	10	10	10	10
Enxágue 2	10	10	10	10
Estonagem	5	5	5	-
Enxágue 1	5	5	5	-
Enxágue 2	5	5	5	-
Clareamento	10	10	-	-
Enxágue 1	10	10	-	-
Enxágue 2	10	10	-	-
Neutralização	10	10	-	-
Enxágue 1	10	10	-	-
Enxágue 2	10	10	-	-
Limpeza	10	10	10	-
Enxágue 1	10	10	10	-
Enxágue 2	10	10	10	-
Amaciamento	5	5	5	5
Tingimento	-	-	-	10
Enxágue 1	-	-	-	10
Enxágue 2	-	-	-	10
Oxidação	-	-	-	10
Enxágue 1	-	-	-	10
Enxágue 2	-	-	-	10
Consumo total (L/kg)	140	140	80	95
Consumo de água nos enxágues (L/kg)	90	90	50	60

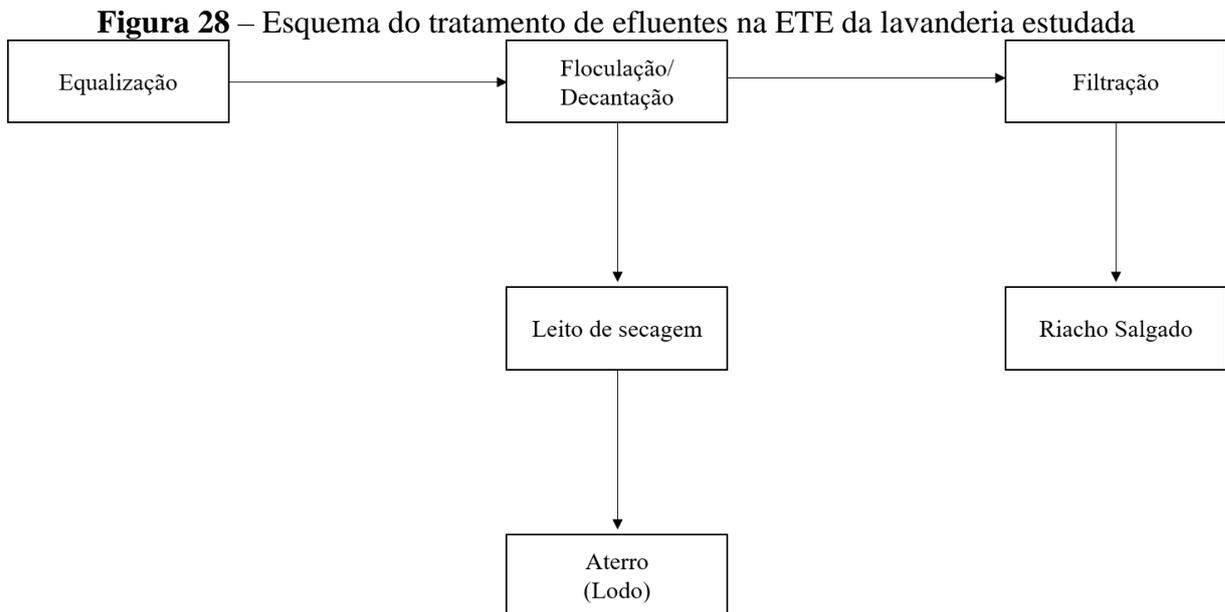
Para entender os principais aspectos das águas residuais em lavanderias têxteis, é importante analisar também o processo produtivo a partir da definição de pontos de entrada de água e geração dos efluentes. A seguir (Figura 27), é possível verificar um esquema do processo, com destaque para o uso da água e para a geração dos efluentes e resíduos sólidos (lodo) nas etapas intermediárias e no processamento geral realizado na lavanderia, com destaque para o processo “Cristal”. Devido à variação das tipologias de processos e lavagens que ocorrem em um mesmo dia, considerou-se, nesta etapa, a avaliação das linhas de geração de efluentes no processo supracitado, caracterizado como um dos processos mais realizados na lavanderia, além de ser um dos processos que apresenta uma das maiores demandas de água, conforme destacado anteriormente. O processo Cristal é composto por 6 etapas de lavagem, além dos enxágues que são realizados em cada etapa.

Figura 27 – Fluxograma de entradas e saídas de águas, efluentes e resíduos no processo de lavagem “Cristal”



A quantidade de efluente gerado em cada etapa da lavagem corresponde ao volume de água que é utilizado. Após cada uma dessas etapas ocorre a descarga do efluente e este é encaminhado para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), que recebe a contribuição dos efluentes gerados nos demais processos de lavagem. A lavanderia estudada possui uma ETE que é responsável pelo tratamento de todo o volume de efluente têxtil gerado no processo produtivo. O tratamento consiste, exclusivamente, na utilização de processos físico-químicos e a destinação final é realizada em corpo hídrico localizado próximo à lavanderia.

O esquema da ETE da lavanderia estudada compreende tanque de equalização, tanque de floculação/decantação e filtro de areia. Após a passagem pelo filtro, o efluente é encaminhado para o Riacho Salgado. O tratamento de lodo inclui a secagem em leitos de secagem e o envio para aterro (Figura 28).



O tanque de equalização recebe todos os efluentes gerados nos processos produtivos realizados na lavanderia. O efluente é homogeneizado e misturado para garantir que a qualidade seja uniforme antes do tratamento. É nesse local que ocorre, também, a adição dos produtos químicos que auxiliam no tratamento dos efluentes. De acordo com dados dos operadores da ETE, comumente, são utilizados quatro produtos, sendo estes: sulfato de alumínio; polímero floculante; soda cáustica; e cal.

Após a etapa de coagulação-floculação, o efluente é enviado para um tanque de decantação, onde os flocos formados na etapa anterior são separados do líquido e removidos do fundo do tanque. Os tanques de decantação possuem capacidade para receber cerca de 15.000

litros de efluente. Desse volume, pouco mais de 30% fica acumulado no tanque após o período de sedimentação e o restante é descarregado e segue para o recipiente com o filtro de areia. Após a passagem pelo filtro de areia, é realizada, então, a disposição final do efluente tratado que, nesse caso, se dá em um trecho localizado às margens do Riacho Salgado.

O Riacho Salgado é um curso d'água que deságua no Rio Ipojuca, em uma região próxima ao centro da cidade de Caruaru, passando por vários bairros como Maurício de Nassau, Universitário e Salgado (SILVA *et al.*, 2020). A principal fonte de poluição desse corpo hídrico é o despejo inadequado de esgoto e resíduos sólidos nas suas margens. Além disso, a atividade industrial na região também tem contribuído para a poluição do riacho e, principalmente, empresas que utilizam produtos químicos em seus processos produtivos liberam substâncias tóxicas na água, prejudicando a qualidade do ambiente.

Ainda em relação ao tratamento de efluentes na ETE da lavanderia, tem-se que a fração sedimentada no tanque de floculação/decantação – ou seja, o lodo gerado no processo – é encaminhada para os leitos de secagem. Vale destacar que o número de vezes de descarte desse material varia de acordo com o funcionamento da ETE. Cada leito de secagem possui um volume equivalente a 7,5 m³ e, na lavanderia estudada, são utilizados quatro leitos de secagem. Após a secagem completa, o lodo é armazenado em sacos plásticos, a granel, até o momento em que é realizada a coleta e o envio para descarte em aterro. De acordo com os responsáveis pela operação da ETE, cerca de 5 a 7 toneladas de lodo são geradas na lavanderia por mês e enviadas para o descarte.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS, EFLUENTES E RESÍDUOS SÓLIDOS

5.2.1 Caracterização da água bruta e dos efluentes bruto e tratado

Considerando a importância de compreender as características e os aspectos associados às águas utilizadas na indústria têxtil e aos efluentes gerados nos processos produtivos, além do tratamento que é realizado para estas águas residuais, evidencia-se abaixo (Tabela 10), a caracterização dos parâmetros físico-químicos relacionados à água bruta utilizada nas lavagens na lavanderia e aos efluentes bruto geral (EBG) e tratado geral (ETG).

Tabela 10 – Caracterização das águas e efluentes da lavanderia estudada

Parâmetros	AB – Água Bruta	EBG – Entrada da ETE	ETG – Saída da ETE
pH	7,6±0,2	8,9±1,3	8,7±0,4
Turbidez (NTU)	3,6±0,4	522,0±210,7	94,0±73,5
DQO (mg/L)	66,2±1,2	3835,0±482,2	1239,5±33,2
Cor (mg/L Pt-Co)	21,0±1,3	2660,8±1194,3	998,0±469,1
Sólidos Totais (mg/L)	846,7±92,7	7786,5±857,7	6376,5±23,3
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	683,3±82,4	7203,5±655,5	6120,0±9,9
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	163,3±66,2	583,5±202,9	256,5±54,4
Condutividade (mS/cm)	1,6±0,04	13,4±1,7	11,4±0,5
Salinidade (‰)	0,7±0,04	7,0±0,8	5,8±0,2
Alcalinidade (mg/L CaCO₃)	156,3±9,3	636,5±48,8	533,0±56,6
Dureza Total (mg/L CaCO₃)	293,3±23,1	520,0±150,9	306,7±188,6

A água bruta utilizada na lavanderia estudada é obtida a partir de poços localizados no município de Caruaru e o abastecimento na lavanderia se dá através de caminhões pipa. Por meio dos dados evidenciados anteriormente, analisou-se que os resultados obtidos em relação às características qualitativas da água bruta estão relacionados a estudos de caracterização realizados no âmbito do Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco, especificamente das lavanderias localizadas no município de Caruaru (Oliveira, 2008; Silva Filho *et al.*, 2021a; Cavalcanti, 2020).

De acordo com a análise qualitativa, verificou-se que os efluentes brutos caracterizados apresentaram um comportamento heterogêneo. Nesse contexto, é importante considerar aspectos verificados na literatura, em estudos que evidenciam o fato de que efluentes têxteis caracterizam-se por apresentarem uma variação em relação aos aspectos qualitativos, principalmente devido aos produtos que são utilizados no processo (Baptisttella, 2018; Ramos *et al.*, 2020). Além disso, vale destacar o fato de que diferentes tipos de processo são realizados em um mesmo dia nas lavanderias e, por possuírem algumas características diferentes entre si, seja em relação ao tipo de produto, à quantidade de água utilizada ou ao tipo de tecido processado, os processos acabam influenciando nos aspectos qualitativos dos efluentes e contribuindo para uma variação nos aspectos qualitativos. Estudos realizados em lavanderias inseridas no contexto do Polo Têxtil de Pernambuco evidenciam as características observadas e os parâmetros analisados nesta pesquisa (Marcelino, 2013; Silva Filho *et al.*, 2021a).

Em relação ao pH, destaca-se a importância deste indicador nos processos de beneficiamento de têxteis, visto que este parâmetro é regulado em várias etapas do

processamento para auxiliar os processos e colaborar na obtenção dos melhores resultados. Outro aspecto importante a ser considerado, é o fato de que o pH é influenciado pelo tipo de tecido processado, corantes e, conseqüentemente, pelo tipo de processo que é realizado (RAMOS *et al.*, 2020). Estudos realizados em lavanderias do Polo Têxtil de Pernambuco apresentaram resultados semelhantes para o pH do efluente bruto geral proveniente dos processos de beneficiamento de jeans (Amaral *et al.*, 2014; Amaral, 2015).

A turbidez é impactada pela presença de partículas suspensas no efluente. Nesse contexto, acredita-se que a turbidez é influenciada pelos sólidos suspensos presentes nas águas residuais (Ramos *et al.*, 2020). Os sólidos suspensos, presentes em grande quantidade nos efluentes têxteis, contribuem para as características supracitadas. A presença destes sólidos ocorre, principalmente, devido a partículas sólidas não dissolvidas e que são removidas dos tecidos. Outro aspecto que tem influência no comportamento dos sólidos suspensos está relacionado aos produtos químicos utilizados que, devido às mudanças de pH, podem precipitar e aumentar as partículas suspensas (Wadan *et al.*, 2023).

Os altos valores registrados para a DQO no efluente analisado, indicam a presença de compostos oxidáveis presentes em produtos que são empregados nas várias etapas do processo nas lavanderias, como o peróxido de hidrogênio, por exemplo, utilizado na etapa de limpeza. Análises realizadas em efluentes gerados em lavanderias têxteis mostram uma tendência de valores bem superiores de DQO em comparação com os de DBO (Tabela 2), enfatizando os efeitos da presença dos compostos supracitados. Vale destacar que, além da presença desses produtos, a adição de corantes e outros aditivos aos efluentes nas lavanderias contribui para a elevação dos valores de DQO (Pizato *et al.*, 2017).

Em relação à análise de cor, verificou-se que o efluente da lavanderia apresentou uma faixa de valores consideravelmente alta, mas com um perfil característico deste tipo de água residual. A forte coloração dos efluentes têxteis gerados pode ser atribuída em grande parte aos corantes utilizados em alguns dos processos da lavanderia. O pH e a temperatura tornam a água colorida porque não permitem que as partículas responsáveis pela cor se desintegrem durante o tingimento ou no processamento das peças tingidas (Azanaw *et al.*, 2022).

Em geral, a condutividade elétrica das águas residuais depende do tipo e da quantidade de tecido processado, assim como dos processos. Nesse contexto, valores expressivos de condutividade foram registrados para o efluente analisado. Os valores relacionados à condutividade elétrica no efluente da lavanderia podem evidenciar as características observadas para a salinidade, uma vez que existe uma relação entre estes parâmetros. Vale destacar, também, que tanto a condutividade como a salinidade dos efluentes têxteis são expressivamente

relacionadas ao total de sólidos dissolvidos. De acordo com Azanaw *et al.* (2022), os valores altos relacionados aos sólidos totais dissolvidos resultam em salinidade extrema ao serem despejados nos cursos de água.

De acordo com a caracterização realizada para o efluente da lavanderia, verificou-se a tendência observada na literatura, em que a indústria têxtil gera águas residuais altamente alcalinas (Azanaw *et al.*, 2022). O contato da água com algumas substâncias utilizadas nas lavagens acaba gerando um efluente com esta característica, o que o torna prejudicial ao meio ambiente, principalmente aos corpos hídricos, fazendo necessária a busca por soluções corretivas para a redução deste fator em níveis toleráveis (Ferreira Filho; Chui, 2006).

O padrão da dureza total dos efluentes analisados também é característico das águas residuais originadas na indústria têxtil, principalmente diante do uso de corantes nos processos de tingimento ou nos processamentos de peças tingidas. Nesse contexto, é importante considerar que a maioria dos corantes é precipitada na presença de íons de cálcio e magnésio (Zanoni; Yamanaka, 2016).

Por meio da determinação da série de sólidos totais, foi possível compreender as características do efluente a partir da natureza das partículas presentes na água residual. No caso dos efluentes da lavanderia analisada, os compostos inorgânicos presentes em produtos como hidróxido de sódio e sulfatos incorporam-se à água residual na forma de sólidos fixos. Já as gomas, os álcoois, os sabões e os detergentes contribuem para a porção dos sólidos voláteis. Vale destacar que os valores de sólidos dependem, também, do tipo de tecido processado e da produção total (Chagas, 2009; Pizato *et al.*, 2017).

Em relação ao efluente tratado, pode-se realizar algumas considerações em relação aos parâmetros analisados, tendo como base os aspectos normativos legais que regulamentam o lançamento de efluentes em corpos hídricos, especialmente as Resoluções CONAMA 357/05 e 430/11. Em relação ao pH observou-se que os valores analisados enquadram o efluente tratado na ETE da lavanderia dentro dos limites estabelecidos pelas legislações supracitadas (pH entre 5,0 e 9,0). Considerando que a Resolução CONAMA 430/2011 não estabelece padrões de lançamento de efluentes para os parâmetros de cor, turbidez e salinidade, pode-se realizar uma análise à luz da Resolução 357/2005.

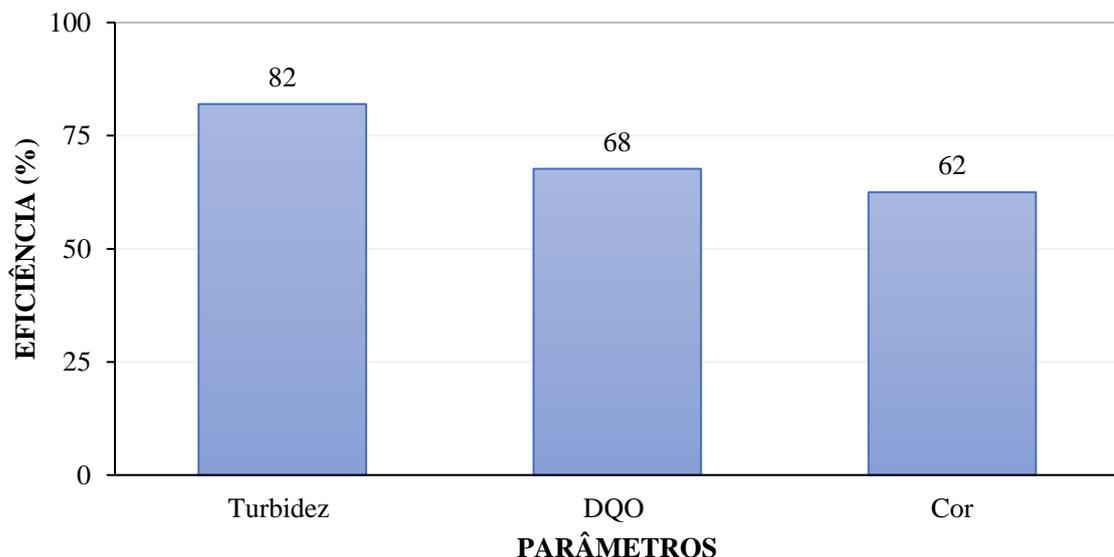
Tendo em vista que o lançamento dos efluentes têxteis da lavanderia estudada é realizado em um corpo d'água afluente ao Rio Ipojuca (Classe 2, água doce), observou-se que os valores característicos para a turbidez do efluente tratado também se encontram enquadrados nos aspectos estabelecidos pelas normativas, sendo estes inferiores a 100 NTU (CONAMA 357/2005). Observou-se que, mesmo havendo uma redução nos padrões de cor do efluente

tratado em relação ao efluente bruto, o efluente tratado ainda apresentou uma característica fora dos padrões estabelecidos pela Resolução supracitada (75 mg.PT L^{-1}) e considerados em estudos que avaliam o lançamento de efluentes têxteis em corpos hídricos. Em relação à salinidade, considerando os aspectos preconizados pela Resolução 357/05, que estabelece a classificação dos corpos d'água em doces, salobras e salinas, o efluente tratado apresentou características salobras (salinidade $> 0,05\%$ e $< 30\%$), o que pode influenciar nos aspectos qualitativos do corpo hídrico utilizado como destinação final, uma vez que este é classificado como pertencente ao grupo dos corpos d'água doce.

Em relação à remoção de sólidos, verificou-se que mesmo tendo-se uma redução nos valores observados para o efluente tratado em relação ao efluente bruto, ainda foi possível identificar valores expressivos relacionados aos ST, STF e STV. Nesse sentido, pode-se destacar os aspectos relacionados à eficiência do sistema de tratamento na ETE na lavanderia, assim como as questões ligadas à utilização de coagulantes, neutralizantes e precipitantes no sistema de tratamento podem ter contribuído para a característica.

Tendo como base as características do efluente bruto e tratado na ETE da lavanderia, observou-se o padrão de eficiência do tratamento realizado, considerando os parâmetros de turbidez, DQO e cor (Figura 29).

Figura 29 – Eficiência do tratamento de efluentes realizado na ETE da lavanderia



Como foi visto anteriormente, no contexto de um efluente têxtil, a turbidez pode ser causada pela presença de sólidos suspensos, como fibras, corantes e outros resíduos. Nos processos físico-químicos, como os que envolvem a tecnologia de coagulação-floculação,

geralmente há uma redução significativa da turbidez (BAPTISTTELLA, 2018). Na avaliação realizada, verificou-se que o tratamento na ETE da lavanderia alcançou índices de eficiência em relação à turbidez superiores a 80%. É importante ressaltar que a eficiência de remoção de turbidez observada é um bom resultado, mas ainda há espaço para melhorias e aprimoramentos contínuos.

Em relação à DQO, observou-se que o resultado médio da eficiência de tratamento para o parâmetro supracitado foi equivalente a 68%. Mesmo considerando uma remoção média próxima de 70% para a DQO no efluente tratado na ETE da lavanderia, é importante realizar algumas considerações em relação à legislação estadual de Pernambuco, especialmente a Nota Técnica CPRH N 2001, emitida pela Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado, que estabelece critérios para o lançamento de efluentes líquidos provenientes de indústrias têxteis no estado. No que se refere à remoção de DQO, a nota técnica determina que os efluentes devem atender aos limites máximos permitidos pela legislação ambiental vigente, que varia de acordo com a classificação do corpo receptor. Porém, a legislação estadual supracitada enfatiza a necessidade de uma redução de DQO na indústria têxtil equivalente a, no mínimo, 80%. Nesse sentido, verifica-se que ainda há espaço para melhorias no tratamento dos efluentes.

A remoção de cor em efluentes têxteis pode ser um processo desafiador, uma vez que a cor é frequentemente causada por corantes e pigmentos que são projetados para serem resistentes à lavagem. Portanto, analisando a remoção de cor no efluente tratado na ETE da lavanderia, observou-se que o valor médio de eficiência correspondeu a 62%, valor semelhante ao encontrado por Souza (2017).

Ressalta-se, mais uma vez, que a composição do efluente têxtil pode variar devido a mudanças nos processos de produção, na qualidade da matéria-prima utilizada, na quantidade de água utilizada nos processos e na presença de outros contaminantes, e isso pode afetar a eficiência do processo de tratamento. O desempenho do sistema de tratamento também pode afetar a eficiência da coagulação, uma vez que problemas como a sobrecarga do sistema, falhas nos equipamentos da ETE, problemas no sistema de floculação ou problemas na filtração podem afetar a remoção dos contaminantes. A qualidade dos produtos químicos utilizados na coagulação também pode variar, o que pode afetar a eficiência.

Considerando a relevância de identificar os principais metais presentes nos efluentes têxteis, uma vez que estas águas residuais caracterizam-se pela presença destes elementos, foram analisadas as concentrações de metais no efluente bruto gerado na lavanderia e no efluente tratado na ETE, tendo como base a resolução CONAMA 430/2011 e valores máximos estabelecidos (Tabela 11).

Tabela 11 – Caracterização de metais presentes no efluente têxtil da lavanderia

Metais		EBG - Entrada da ETE	ETG - Saída da ETE	Valores Máximos CONAMA 430/2011
		Concentração (mg/L)	Concentração (mg/L)	Concentração (mg/L)
Arsênio	As	0,005	0,002	0,5
Bário	Ba	0,020	0,001	5,0
Boro	B	0,102	0,093	5,0
Cádmio	Cd	0,007	0,006	0,2
Chumbo	Pb	0,008	0,006	0,5
Cobre	Cu	0,004	0,004	1,0
Estanho	Sn	0,002	0,001	4,0
Ferro	Fe	0,367	0,139	15,0
Manganês	Mn	1,422	1,094	1,0
Níquel	Ni	0,003	0,005	2,0
Prata	Ag	0,001	0,001	0,1
Zinco	Zn	1,102	0,088	5,0

De acordo com a análise realizada, observou-se que a maior parte dos metais presentes nos efluentes bruto e tratado encontravam-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011, com exceção do Manganês (Mn). O Mn é um elemento presente na grande maioria dos efluentes têxteis devido sua presença nos produtos mais utilizados na indústria. No caso específico das lavanderias, pode-se destacar a presença deste metal na composição do permanganato de potássio (KMnO_4), utilizado em grande escala nos processos de lavagem.

5.2.2 Caracterização dos efluentes de processo

A caracterização dos efluentes de processo consistiu na análise dos aspectos qualitativos referentes aos efluentes gerados nas etapas intermediárias de lavagens, especificamente considerando o processo Cristal (Tabela 12).

Tabela 12 – Caracterização físico-química dos efluentes de processo gerados na lavanderia

PONTO	pH	Turbidez	Cor	DQO	ST	STF	STV	Alcalinidade	Dureza	Condutividade	Salinidade
		NTU	mg/L Pt-Co	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L CaCO ₃	mg/L CaCO ₃	mS/cm	‰
DES	7,2±1,5	862±19	3866±865	5759±643	3127±438	1517±406	1610±209	284±115	140±22	3,06±1,0	1,38±0,5
EST	6,1±0,1	1210±0	6713±358	5140±584	4887±2703	2050±824	2837±2023	158±2	173±65	3,54±1,3	1,63±0,7
EST - E1	7,2±1,5	850±50	2871±1854	2946±302	2290±711	1083±211	1207±614	179±46	147±33	2,42±0,4	1,10±0,2
CLA	7,3±0,0	292±12	3328±1449	3272±315	2553±154	1330±154	1223±222	206±3	113±53	2,36±0,03	1,04±0,01
CLA - E1	7,7±0,1	100±7	1046±364	1827±112	1467±163	1003±71	463±104	206±18	173±33	2,00±0,06	0,91±0,01
CLA - E2	7,9±0,2	84±26	446±156	611±86	1207±78	887±68	320±49	224±8	173±60	1,91±0,03	0,85±0,03
NEU	2,9±0,2	421±97	2353±621	4961±502	7457±1078	5820±870	1637±211	0±0	547±74	8,34±0,8	4,06±0,4
NEU - E1	6,2±1,2	141±39	984±277	638±65	2390±255	1910±140	480±175	175±6	320±44	3,30±0,2	1,51±0,08
NEU - E2	6,8±0,1	117±1	677±286	558±53	1860±259	1487±238	373±37	150±16	293±70	2,64±0,3	1,24±0,2
LIM	6,6±0,5	381±28	1880±24	3016±305	2320±329	1243±349	1077±105	37±6	227±33	2,31±0,5	1,04±0,2
LIM - E1	8,0±0,3	159±37	608±336	2007±215	1425±44	970±105	455±85	187±28	207±39	2,02±0,2	0,90±0,07
LIM - E2	8,1±0,1	109±10	431±144	733±88	1300±197	956±74	344±157	215±13	267±65	1,97±0,1	0,90±0,06
AMA	8,2±0,4	319±179	878±210	837±102	1300±103	892±106	408±78	212±5	213±65	1,95±0,1	0,88±0,05
ETG	8,7±0,4	94±74	998±469	1240±33	6376±23	6120±10	256±54	533±57	307±189	11,4±0,5	5,8±0,2

Legenda: DES: Desengomagem; EST: Estonagem; EST-E1: 1º Enxágue após Estonagem; CLA: Clareamento; CLA-E1: 1º Enxágue após Clareamento; CLA-E2: 2º Enxágue após Clareamento; NEU: Neutralização; NEU-E1: 1º Enxágue após Neutralização; NEU-E2: 2º Enxágue após Neutralização; LIM: Limpeza; LIM-E1: 1º Enxágue após Limpeza; LIM-E2: 2º Enxágue após Limpeza; AMA: Amaciamento; ETG: Efluente Tratado Geral.

Em relação ao pH, observou-se que houve uma variação dos valores de acordo com a etapa de lavagem. Vale destacar que o pH é um fator fundamental no processo de lavagem em lavanderias de jeans. Cada uma das etapas exige um nível de pH específico para alcançar os melhores resultados. Em algumas etapas, é comum a utilização de agentes alcalinos para remover as impurezas e sujeiras presentes no tecido. O pH alcalino ajuda a soltar a sujeira e a torná-la mais fácil de ser removida. Na etapa de neutralização, o ácido é utilizado justamente para que haja uma redução de pH e se tenha um bom desempenho em relação à utilização do metabissulfito de sódio, que é mais eficiente em soluções ácidas, agindo para prevenir a oxidação dos corantes.

As etapas de desengomagem (DES) e estonagem (EST) caracterizaram-se como as etapas que geraram efluentes com as cores mais fortes. Verifica-se que à medida em que é realizado o processo de lavagem, ocorre uma mudança na coloração do efluente, variando de cores mais fortes nas etapas iniciais para cores mais atenuadas nas etapas finais. Analisa-se, também que os efluentes oriundos dos enxagues tendem a apresentar uma forte redução na cor característica. Analisa-se que a turbidez, ao longo do processo de lavagem, segue um padrão semelhante às características de cor dos efluentes, onde as etapas iniciais apresentam valores mais altos e nos enxagues há uma redução dessas características.

A DQO é um parâmetro crucial a ser considerado no processo de lavagens em lavanderias de jeans, devido à presença de diversos produtos químicos utilizados. Verificou-se que os efluentes gerados nas etapas intermediárias das lavagens apresentaram valores significativos, destacando-se as etapas de desengomagem, estonagem, clareamento, neutralização e limpeza. É justamente nessas etapas que ocorre a maior parte da remoção dos resíduos indesejados das peças, fazendo com que as substâncias químicas provenientes de corantes, enzimas e agentes de branqueamento contribuam para a DQO das águas residuais.

Em relação à série de sólidos, observou-se que estes são parâmetros significativos no que diz respeito ao aspecto qualitativo dos efluentes intermediários, onde verificou-se uma variação em relação às parcelas de sólidos fixos e sólidos voláteis. Na maior parte dos pontos, a parcela de sólidos fixos foi maior do que a de sólidos voláteis, porém nas etapas de desengomagem, estonagem e no enxágue da etapa de estonagem, a parcela de sólidos voláteis foi maior do que a de sólidos fixos.

Verificou-se que os efluentes gerados nas etapas intermediárias de enxágue, especialmente os oriundos dos segundos enxagues (destacados na cor azul), apresentaram valores inferiores aos efluente tratado na ETE da lavanderia (ETG).

5.2.3 Caracterização dos resíduos sólidos gerados no tratamento de efluentes (lodo têxtil)

O lodo têxtil é composto por sólidos em suspensão e materiais orgânicos que foram removidos do efluente durante o processo de tratamento. A quantidade e as características do lodo gerado dependem das características do efluente e do processo de tratamento adotado.

Os metais presentes no lodo têxtil podem variar dependendo do tipo de processo têxtil e dos produtos químicos utilizados na produção. Esses metais podem estar presentes no lodo como resultado do uso de corantes, produtos químicos de acabamento e de processos de tratamento. No lodo analisado, observou-se que houve uma variação na concentração de metais de acordo com a amostra analisada do resíduo (Tabela 13).

Tabela 13 – Caracterização de metais presentes no lodo têxtil da lavanderia

Metais		Coleta 1	Coleta 2	Valores Máximos CONAMA 375/2006
		Concentração (mg/kg)	Concentração (mg/kg)	Concentração (mg/kg)
Arsênio	As	0,027	0,003	41,0
Bário	Ba	3,247	0,140	1300,0
Cádmio	Cd	0,118	0,009	39,0
Chumbo	Pb	2,297	0,062	300,0
Cobre	Cu	2,212	0,102	1500,0
Crômio	Cr	0,326	0,012	1000,0
Molibdênio	Mo	1,945	0,079	50,0
Níquel	Ni	0,167	0,100	420,0
Selênio	Se	0,081	0,002	100,0
Zinco	Zn	4,972	0,305	2800,0

Tendo como base a Resolução CONAMA 375/2006, analisou-se que nenhum dos metais avaliados ultrapassou os limites estabelecidos pela norma supracitada. Verificou-se, porém que houve uma variação nos valores de acordo com a coleta realizada, justificando a variabilidade já esperada para esse tipo de resíduo, assim como verifica-se para o efluente têxtil.

5.3 POSSIBILIDADES PARA A TRATABILIDADE DOS EFLUENTES

5.3.1 Características do efluente têxtil bruto

O efluente têxtil utilizado para o estudo de tratabilidade foi obtido na lavanderia analisada e apresentou as características físico-químicas observadas a seguir (Tabela 14).

Tabela 14 – Características físico-químicas e aspecto visual do efluente têxtil bruto

Parâmetros	Média±DP	Aspecto visual
pH	7,56±0,03	
Turbidez (NTU)	472,33±3,51	
Cor (mg/L Pt-Co)	1669,33±3,06	
Sólidos Totais (mg/L)	5333,33±166,53	
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	4826,67±140,48	
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	506,66±61,10	

O efluente têxtil apresentou características comuns aos efluentes gerados na lavanderia, conforme caracterização realizada anteriormente. Altos valores de turbidez, cor e sólidos foram observados como característicos do efluente.

5.3.2 Cenários de tratamento utilizando coagulação

O desempenho dos tratamentos de coagulação utilizando o sulfato de alumínio e o PAC foi avaliado a partir da análise dos índices relacionados à eficiência de remoção, considerando os parâmetros de turbidez, cor e sólidos totais voláteis – STV (Figura 30). Para isso, realizou-se uma comparação em relação às características do efluente têxtil bruto (Tabela 5.6) e avaliou-se os índices com base nas eficiências do tratamento realizado na lavanderia estudada.

Em relação ao tratamento utilizando sulfato de alumínio como coagulante, analisou-se que, para todas as dosagens, os índices de remoção de turbidez (Figura 30a) foram superiores à eficiência do tratamento realizado na ETE da lavanderia (82%). Índices de remoção de turbidez superiores a 90% foram obtidos para todas as dosagens, exceto para a mais baixa (100 mg/L). Verificou-se que as três maiores dosagens se destacaram por possibilitarem eficiências superiores a 97%, evidenciando-se a dosagem de 350 mg/L (98,3%). Em relação à cor (Figura 30c), destacou-se que a dosagem de 250 mg/L levou à uma eficiência de remoção de, aproximadamente, 90%, assim como as dosagens de 300 e 350 mg/L. Vale destacar que, para todas as dosagens, a remoção registrada atingiu valores próximos ou superiores a 85%, estando acima da eficiência média analisada para o tratamento realizado na lavanderia (82%).

Por sua vez, a remoção máxima obtida através do uso de sulfato de alumínio para os STV foi de 68,4%, relacionado à dosagem de 100 mg/L (Figura 30e). Nesse aspecto, observou-se que houve uma variação nos índices de eficiência em relação às diferentes dosagens

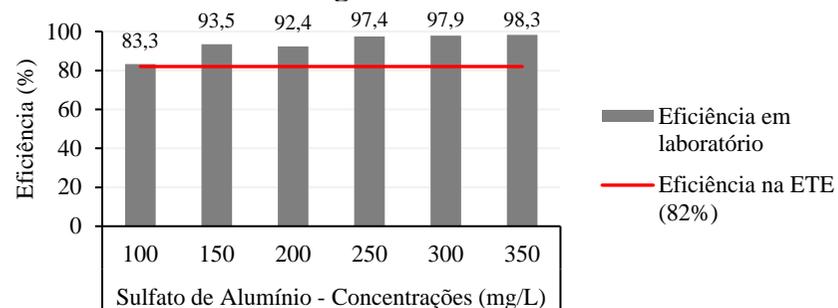
aplicadas, sem a definição de um padrão específico. Ainda em relação aos STV, valores acima de 55% foram registrados para as dosagens de 300 mg/L (60,5%) e 200 mg/L (55,3%), estando superiores aos valores observados para o tratamento da ETE na lavanderia (56%), as concentrações de 100 e 300 mg/L. Para as demais concentrações, foram observadas eficiências abaixo de 50%.

Avaliando o tratamento utilizando o PAC, analisou-se que, para a maior parte das dosagens aplicadas, a remoção de turbidez (Figura 30b) alcançou índices superiores a 97%, com exceção da concentração de 200 mg/L, que proporcionou uma eficiência de 95,2%. Mesmo assim, todos os tratamentos apresentaram um melhor desempenho em comparação à eficiência obtida no tratamento na lavanderia (82%). Considerando o desempenho do coagulante supracitado na remoção de cor, identificou-se que a eficiência para todas as dosagens encontrou-se acima de 85%, destacando-se as concentrações de 120 e 150 mg/L, onde obtiveram-se índices de remoção um pouco maiores que 90% (Figura 30d). Para os STV (Figura 30f), observou-se que a remoção foi muito baixa para a maior parte das dosagens e que o valor máximo de eficiência obtido foi de 68,4%, considerando a concentração de 120 mg/L, destacando-se como a única concentração que proporcionou uma eficiência superior à encontrada no tratamento realizado na lavanderia (56%).

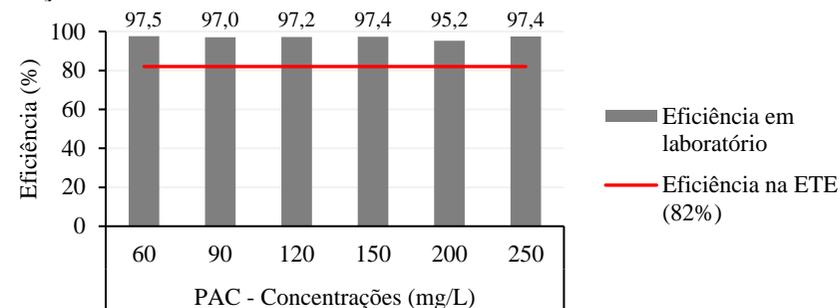
Comparando-se o desempenho dos dois coagulantes avaliados, observou-se que as maiores dosagens de sulfato de alumínio tiveram eficiências semelhantes e/ou próximas às obtidas para as menores dosagens de PAC, considerando tanto a remoção de turbidez como a de cor. Para todos os tratamentos, a eficiência na remoção de cor foi superior a 84%, sendo o valor máximo obtido de 90,2% para a dosagem de 150 mg/L de PAC, e o valor mínimo de 84,6% para a dosagem de 150 mg/L de sulfato de alumínio. Em relação à turbidez, praticamente todos os tratamentos tiveram eficiências acima de 92%, com exceção da utilização de sulfato de alumínio na concentração de 100 mg/L, que proporcionou 83,3% de remoção. Para o parâmetro supracitado, a eficiência de remoção máxima obtida foi de 98,3%, relacionada à dosagem de 350 mg/L de sulfato de alumínio.

Em relação à remoção de STV, avaliou-se que o tratamento com sulfato de alumínio proporcionou melhores eficiências em comparação ao tratamento com PAC. Porém, vale destacar que, dentre todas as dosagens, tanto de sulfato de alumínio como de PAC, a dosagem de 120 mg/L de PAC se destacou por possibilitar a maior remoção de STV, assim como o tratamento utilizando a concentração de 100 mg/L de sulfato de alumínio, ambos apresentando índices de remoção de 68,4%.

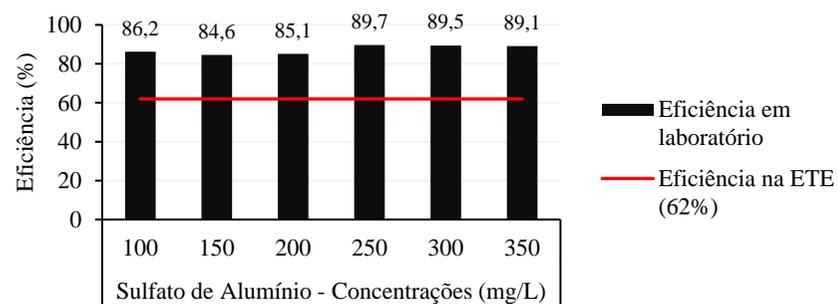
Figura 30 – Eficiências dos tratamentos de coagulação utilizando sulfato de alumínio e PAC



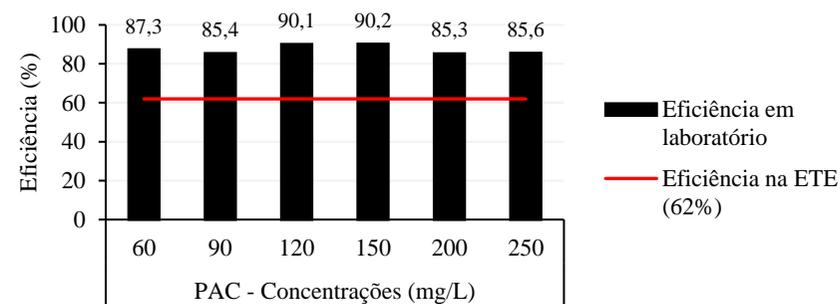
30a – Remoção de turbidez com uso do sulfato de alumínio



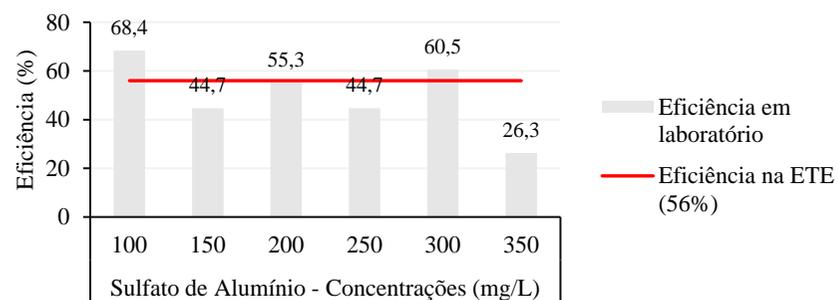
30b – Remoção de turbidez com uso do PAC



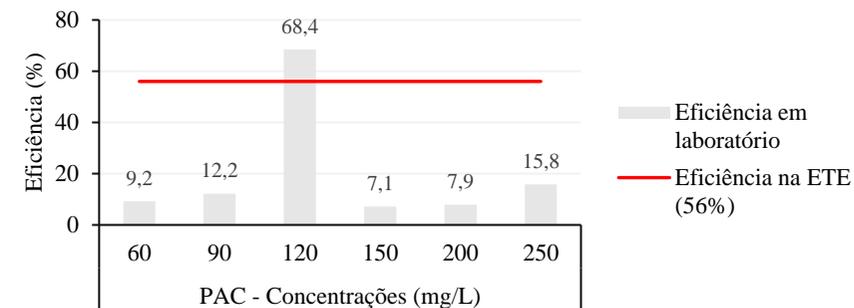
30c – Remoção de cor com uso do sulfato de alumínio



30d – Remoção de cor com uso do PAC



30e – Remoção de STV com uso do sulfato de alumínio



30f – Remoção de STV com uso do PAC

5.3.3 Cenários de tratamento utilizando coagulação combinada à adsorção

Avaliando-se a forma como os coagulantes e adsorvente utilizados poderiam impactar nas características do efluente tratado, foram analisadas as diferentes dosagens de sulfato de alumínio e carvão ativado (CA) aplicadas ao tratamento do efluente têxtil bruto (Figura 31).

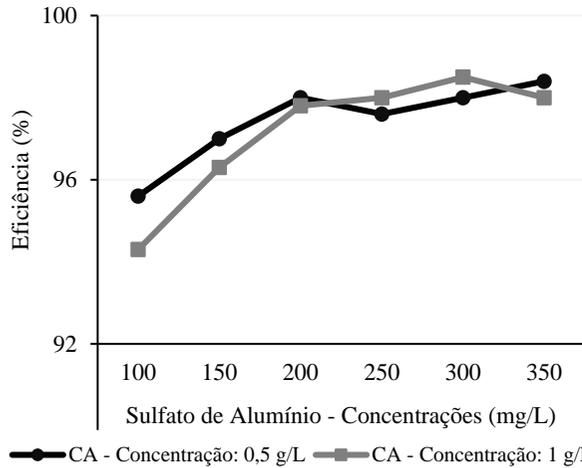
Analisou-se que, para os parâmetros de turbidez e cor, houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos de coagulação, considerando a ausência e presença do carvão ativado (Tabela 15). Identificou-se que todos os tratamentos realizados proporcionaram índices de remoção superiores às eficiências obtidas no tratamento da lavanderia, tanto para turbidez (82%) como para cor (62%). Verificou-se que as dosagens de 300 mg/L e 350 mg/L de sulfato de alumínio, combinadas com dosagens de carvão ativado de 1 g/L e 0,5 g/L, respectivamente, apresentaram os melhores índices de remoção de turbidez, com valores superiores a 98% (Figura 31a). Contudo, vale destacar que a dosagem de 350 mg/L de sulfato de alumínio, sem a adição do carvão ativado, proporcionou uma eficiência semelhante às dosagens anteriormente citadas (Figura 30a).

Tabela 15 – Resultados do tratamento de coagulação com sulfato de alumínio + adsorção

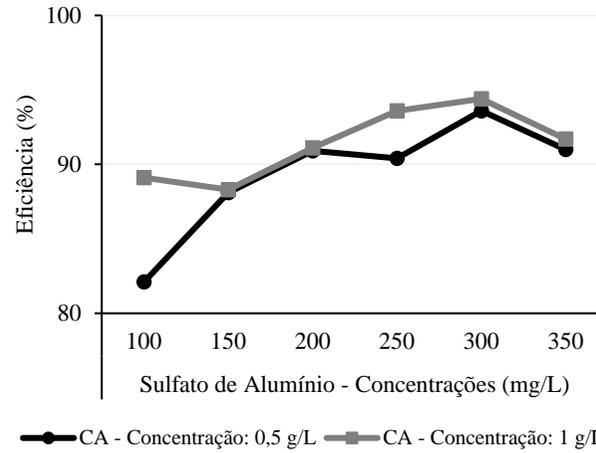
TRATAMENTO		PARÂMETROS AVALIADOS		
Sulfato de Alumínio	Carvão Ativado	Turbidez	Cor	STV
Dosagem (mg/L)	Dosagem (g/L)		Remoção (%)	
100	0	83,3 l	86,2 i	68,4 abc
150	0	93,5 j	84,6 k	44,7 abcdef
200	0	92,4 k	85,1 j	55,3 abcde
250	0	97,4 e	89,7 f	44,7 abcdef
300	0	97,9 cd	89,5 fg	60,5 abcd
350	0	98,3 ab	89,1 g	26,3 cdefg
100	0,5	95,6 h	82,1 l	6,2 g
100	1	94,3 i	89,1 g	36,8 bcdefg
150	0,5	97,0 f	88,1 h	76,3 ab
150	1	96,3 g	88,3 h	84,2 a
200	0,5	98,0 bc	90,9 de	14,0 efg
200	1	97,8 cd	91,1 d	32,9 cdefg
250	0,5	97,6 de	90,4 e	25,0 defg
250	1	98,0 bc	93,6 b	84,2 a
300	0,5	98,0 bc	93,6 b	44,7 abcdef
300	1	98,5 a	94,4 a	8,8 fg
350	0,5	98,4 a	91,0 d	56,6 abcd
350	1	98,0 bc	91,7 c	76,3 ab

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey

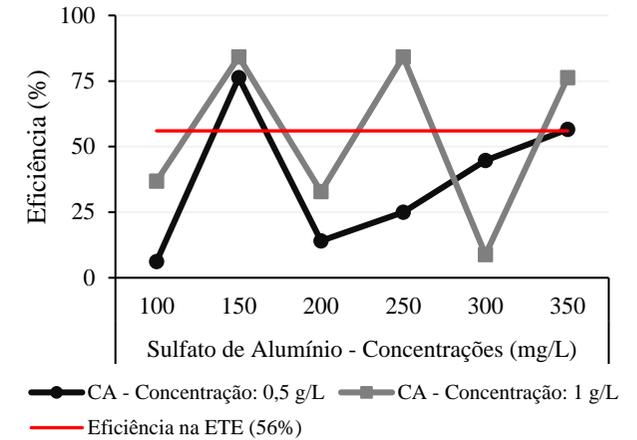
Figura 31 – Eficiências dos tratamentos de coagulação combinada à adsorção com Carvão Ativado (CA)



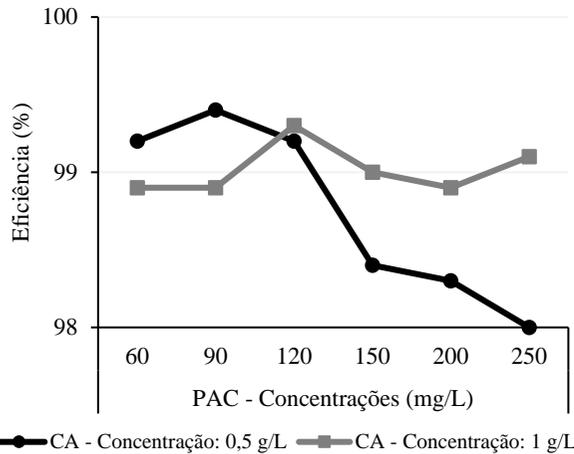
31a – Remoção de turbidez com uso do sulfato de alumínio + carvão ativado



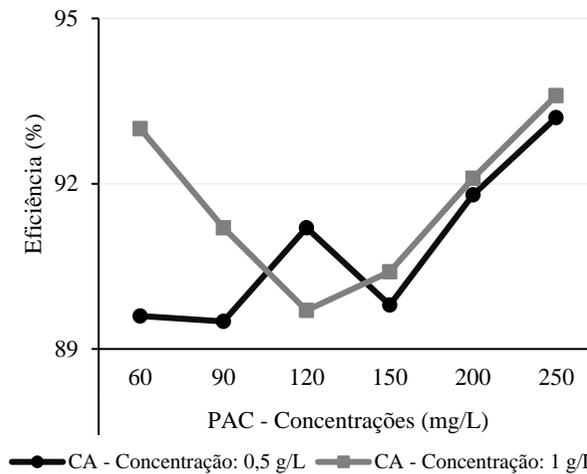
31b – Remoção de cor com uso do sulfato de alumínio + carvão ativado



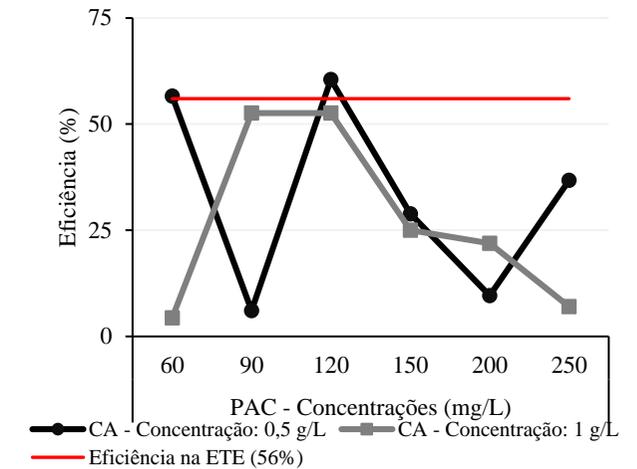
31c – Remoção de STV com uso do sulfato de alumínio + carvão ativado



31d – Remoção de turbidez com uso do PAC + carvão ativado



31e – Remoção de cor com uso do PAC + carvão ativado



31f – Remoção de STV com uso do PAC + carvão ativado

Em relação à remoção de cor, identificou-se que a combinação do coagulante na dosagem de 300 mg/L, com o adsorvente na dosagem de 1 mg/L, destacou-se em relação aos demais tratamentos, promovendo uma eficiência de remoção superior a 94% (Figura 31b). Valores aproximados foram verificados para as combinações de sulfato de alumínio e carvão ativado nas seguintes dosagens, respectivamente: 250 mg/L e 1 g/L; e 300 mg/L e 0,5 g/L.

Por sua vez, em relação ao parâmetro de STV (Figura 31c), analisou-se que a remoção máxima observada correspondeu a 84,2% nos tratamentos onde foram aplicados 150 mg/L de sulfato de alumínio junto a 1 g/L de carvão ativado, assim como nas dosagens de 250 mg/L de sulfato de alumínio combinado à 1 g/L de carvão ativado. Verificou-se que houve uma variação nos índices de remoção de STV, porém esta diferença não ocorreu de forma estatisticamente significativa (Tabela 15).

No contexto da análise dos efeitos da coagulação combinada à adsorção, também foram avaliadas as eficiências do tratamento utilizando PAC e carvão ativado nas diferentes dosagens. Em relação aos tratamentos evidenciados, analisou-se que as dosagens mais baixas de PAC, combinadas às dosagens mais baixas de carvão ativado, se destacaram por proporcionarem altos índices de remoção de turbidez, conforme observa-se nas seguintes relações: PAC 60 mg/L e CA 0,5 g/L; PAC 90 mg/L e CA 0,5 g/L; e PAC 120 mg/L e CA 0,5 g/L (Figura 31d). Destaca-se, ainda, de maneira geral, a ação do carvão ativado, que melhorou a remoção de turbidez em todas as concentrações, proporcionando índices superiores a 98%, fazendo com que a eficiência dos tratamentos realizados estivesse acima da eficiência real obtida na ETE da lavanderia (82%).

Na remoção de cor (Figura 31e), o desempenho dos tratamentos foi um pouco semelhante ao padrão observado para a turbidez, onde a adição do carvão ativado ao processo de coagulação com PAC permitiu melhores eficiências, inclusive superiores à eficiência real do tratamento na lavanderia (62%). Destacaram-se, nesse caso, em termos de eficiência de remoção de cor, as seguintes concentrações: 250 mg/L de PAC combinada a 1 g/L de CA; 250 mg/L de PAC combinada a 0,5 g/L de CA; e 60 mg/L de PAC combinada à 1 g/L de CA.

Tabela 16 – Resultados do tratamento de coagulação com PAC + adsorção

TRATAMENTO		PARÂMETROS AVALIADOS		
PAC	Carvão Ativado	Turbidez	Cor	STV
Dosagem (mg/L)	Dosagem (g/L)		Remoção (%)	
60	0	97,5 h	87,3 j	9,2 de
90	0	97,0 k	85,4 k	12,2 cde
120	0	97,2 j	90,1 fgh	68,4 a
150	0	97,4 hi	90,2 fg	14,0 cde
200	0	95,2 l	85,3 k	7,9 e
250	0	97,4 hi	85,6 k	15,8 cde
60	0,5	99,2 bc	89,6 i	56,6 abc
60	1	98,9 e	93,0 b	4,4 e
90	0,5	99,4 a	89,5 i	6,1 e
90	1	98,9 de	91,2 de	52,6 abcd
120	0,5	99,2 bc	91,2 e	60,5 ab
120	1	99,3 ab	89,7 hi	52,6 abcd
150	0,5	98,4 f	89,8 ghi	28,9 abcde
150	1	99,0 cde	90,4 f	25,0 abcde
200	0,5	98,3 f	91,8 cd	9,6 de
200	1	98,9 de	92,1 c	21,9 bcde
250	0,5	98,0 g	93,2 ab	36,8 abcde
250	1	99,1 cd	93,6 a	7,0 e

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey

Avaliando-se a eficiência na remoção dos STV (Figura 5.17f), evidencia-se um padrão semelhante ao caso do tratamento de coagulação com sulfato de alumínio, onde observou-se que houve uma variação nos índices de remoção, mas não ocorreu uma diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 16). Contudo, é importante considerar que a remoção máxima de STV, no caso da avaliação do tratamento com PAC e CA, foi registrada para a dosagem de 120 mg/L de PAC, sem a adição de CA (Figura 31f). Porém, ressalta-se o fato de que, de maneira geral, os tratamentos em que foram adicionados o CA tiveram melhores eficiências em comparação aos que não consideraram a adsorção combinada à coagulação. Porém, apenas as dosagens de 60 mg/L de PAC combinada à 0,5 g/L de CA e 120 mg/L de PAC combinada à 0,5 g/L de CA, proporcionaram valores de eficiência semelhantes ou superiores aos observados no tratamento da lavanderia (56%).

Foi realizada uma análise geral das diferentes dosagens de coagulantes e adsorvente, observando os três parâmetros de avaliação e considerando todos os tratamentos aplicados. Nesse sentido, foi possível observar as dosagens que proporcionaram os melhores índices de remoção de acordo com o parâmetro avaliado (Tabela 17).

Tabela 17 – Resultados referentes às melhores dosagens por parâmetro

Parâmetro	Tratamento (Dosagem)	Eficiência (%)	Eficiência real (%)
Turbidez	PAC 90 mg/L + CA 0,5 g/L	99,4	82
	PAC 120 mg/L + CA 1 g/L	99,3	
	PAC 120 mg/L + CA 0,5 g/L	99,2	
	PAC 60 mg/L + CA 0,5 g/L	99,1	
	PAC 250 mg/L + CA 1 g/L	99,1	
	PAC 150 mg/L + CA 1 g/L	99,0	
Cor	Sulfato de Alumínio 300 mg/L + CA 1 g/L	94,4	62
	PAC 250 mg/L + CA 1 g/L	93,6	
	Sulfato de Alumínio 300 mg/L + CA 0,5 g/L	93,6	
	Sulfato de Alumínio 250 mg/L + CA 1 g/L	93,6	
	PAC 250 mg/L + CA 0,5 g/L	93,2	
	PAC 60 mg/L + CA 1 g/L	93,0	
STV	Sulfato de Alumínio 250 mg/L + CA 1 g/L	84,2	56
	Sulfato de Alumínio 150 mg/L + CA 1 g/L	84,2	
	Sulfato de Alumínio 150 mg/L + CA 0,5 g/L	76,3	
	Sulfato de Alumínio 350 mg/L + CA 1 g/L	76,3	
	PAC 120 mg/L	68,4	
	Sulfato de Alumínio 100 mg/L	68,4	

Por meio da avaliação realizada, constatou-se que a combinação da adsorção com a coagulação proporcionou os melhores índices de eficiência de tratamento em relação a todos os parâmetros avaliados. Para a turbidez, os tratamentos utilizando o PAC como coagulante elencaram dentre os que apresentaram as maiores remoções, evidenciando-se as menores dosagens do coagulante aplicadas juntamente com as menores dosagens do adsorvente. Em relação à cor, identificou-se que, tanto o sulfato de alumínio como o PAC, tiveram influência nas melhores eficiências dentre todas as dosagens aplicadas, destacando-se o fato de que as maiores dosagens dos dois coagulantes influenciaram nos resultados observados. Por sua vez, as melhores remoções obtidas para os STV tiveram uma influência significativa por meio do uso do sulfato de alumínio combinado ao CA, assim como foram analisados, dentre os maiores índices, valores relacionados ao uso de PAC e sulfato de alumínio sem a adição do CA.

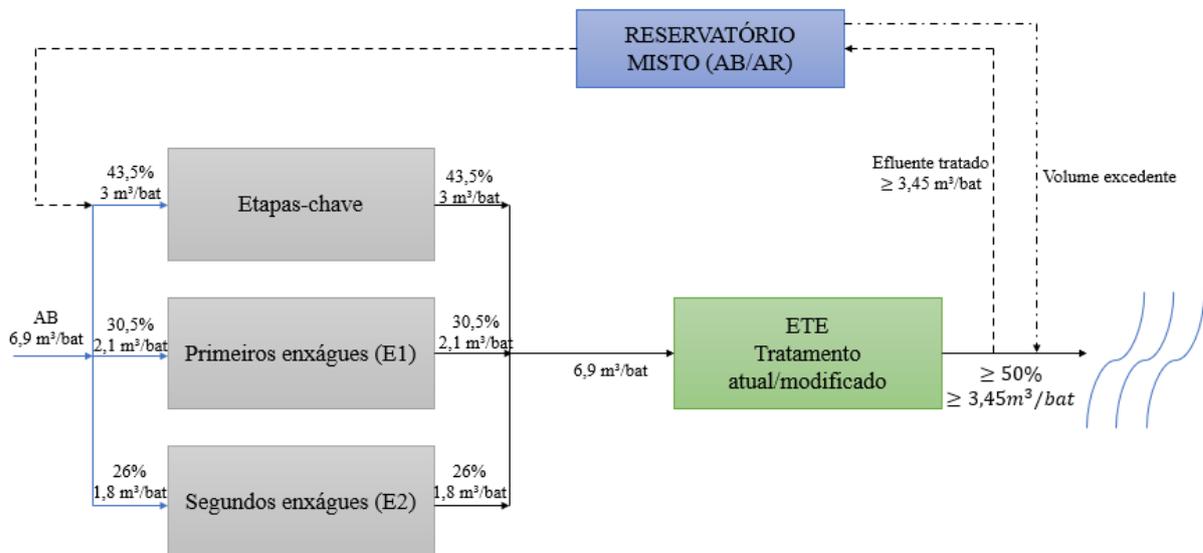
5.4 CENÁRIOS PARA O REÚSO DE ÁGUAS

Considerando os volumes característicos de água utilizada e de efluentes gerados em um processo na lavanderia estudada, realizou-se uma estimativa do consumo e da redução na demanda de água a partir dos três cenários apresentados a seguir. Como o processo Cristal,

considerado nesta estimativa, e tendo como base as etapas realizadas na lavanderia para esse processo (Figura 27), demanda uma quantidade de 115 litros de água por quilograma de roupa seca, avaliou-se a demanda de água considerando uma rodada de lavagem onde são processados 60 kg de roupa seca, que leva a um consumo de $6,9 \text{ m}^3$ de água ao longo do processo.

Para o primeiro cenário de reúso destacado (Figura 32), onde considera-se que aproximadamente 50% do efluente tratado que foi gerado em uma rodada de lavagem retorna para o reservatório de abastecimento (reservatório misto) para ser misturado com a água bruta e utilizado nas etapas-chave, é possível estimar uma economia de mais de 40% de água bruta no processo de lavagem. Isso ocorre porque, se considerarmos que $6,9 \text{ m}^3$ de efluente são gerados por rodada de processo, e que 50% desse volume, depois de tratado, pode retornar ao abastecimento de água na lavanderia, a demanda de água nas etapas-chave pode ser suprida por esse volume de efluentes tratados considerado.

Figura 32 – Cenário 1 para o reúso de águas

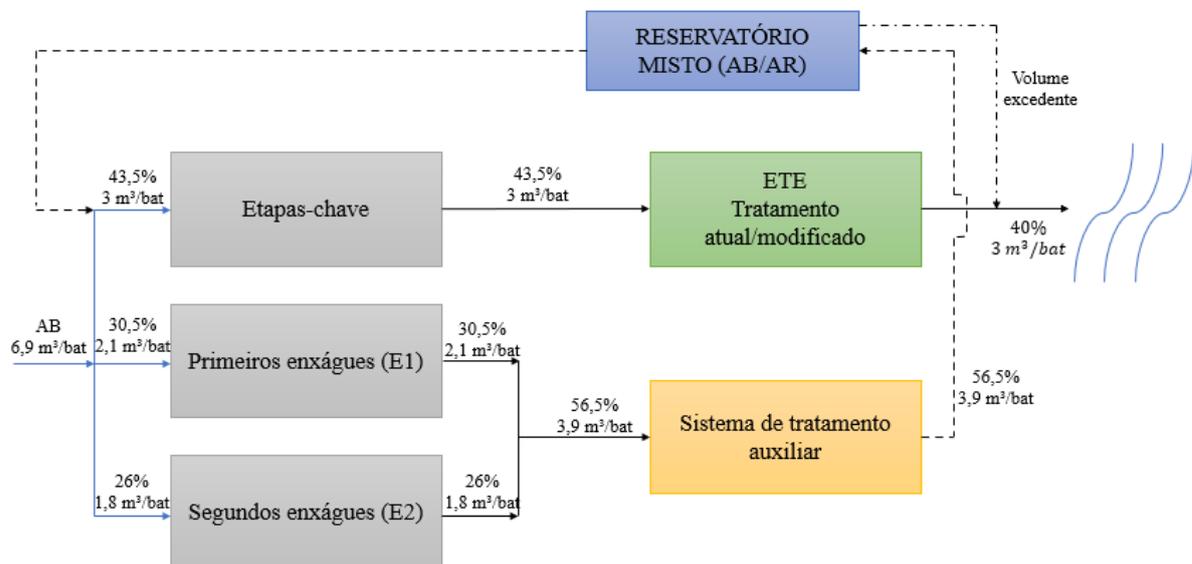


Contudo, é necessário realizar algumas considerações importantes em relação ao cenário destacado. É importante considerar a necessidade de investigações relacionadas a testes de qualidade do efluente tratado para que se possa realizar a dosagem correta entre as quantidades de água de reúso e de água bruta, ou seja, avaliar o efeito concentração e variabilidade da composição dos efluentes, para não interferir nos processos de beneficiamento. Torna-se imprescindível, também, avaliar e realizar os ajustes operacionais necessários à ETE, incluindo a necessidade de tratamentos que favoreçam melhorias na qualidade do efluente tratado. Considerando a possibilidade de haver um volume excedente de água de reúso no cenário

destacado, pode-se incluir o uso desse volume em atividades como descarga de banheiros, lavagens de pisos, dentre outros. Além disso, é relevante considerar as perdas que podem ocorrer ao longo do processo de geração dos efluentes e do tratamento desses resíduos, que podem impactar na avaliação quantitativa do reúso.

No segundo cenário (Figura 33), considera-se a possibilidade de aplicação do reúso através do tratamento dos efluentes gerados apenas nas etapas intermediárias de enxágue (destacadas em linhas tracejadas vermelhas na Tabela 12). Considerando que mais de 56% dos efluentes gerados no processo de lavagem são oriundos dos enxágues, estima-se que o reúso aplicado às condições analisadas no segundo cenário, favorece a redução na demanda de água nas etapas-chave de lavagem. Vale destacar que, para o cenário supracitado, considera-se a inclusão de sistemas de tratamento auxiliares para favorecer a aplicação desses tipos de efluentes nos processos de lavagem a partir da mistura destes com a água bruta no reservatório misto. Inclui-se nesses cenários a utilização de tratamento por processos de adsorção, processos de filtração com membranas e processos oxidativos avançados.

Figura 33 – Cenário 2 para o reúso de águas

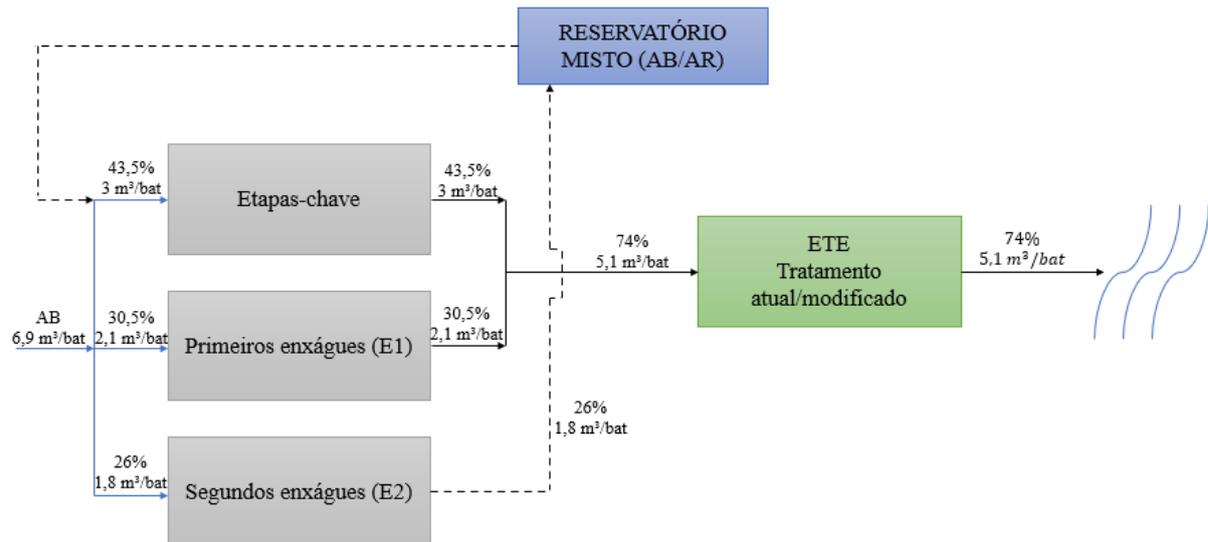


Vale destacar que deve-se considerar a necessidade de testes de qualidade para determinar a dosagem de aplicação da água de reúso em razão da quantidade de água bruta necessária ao processo. Além disso, ressalta-se a importância de investigar e selecionar processos de tratamento e otimização de tratamentos que sejam aplicáveis à realidade estudada e que contribuam para os aspectos qualitativos dos efluentes gerados nas etapas de enxágue, bem como ajustes operacionais na ETE e no reservatório de água.

Conforme destacado anteriormente, os efluentes gerados nos segundos enxáguos (E2) apresentam características qualitativas (destacadas em azul na tabela 12) melhores do que as dos próprios efluentes gerais tratados na ETE. Nesse sentido, considerando as características qualitativas dos efluentes gerados nos segundos enxáguos que ocorrem em alguns dos processos de lavagem realizados na lavanderia, no terceiro cenário (Figura 34) analisou-se a possibilidade de aplicação direta destas águas residuais no reservatório de água bruta, sem a necessidade de tratamento auxiliares.

Diante do volume de efluente gerados nessas etapas de enxágue, pode-se considerar interessante a aplicação destas águas no reúso na lavanderia, o que pode contribuir para uma redução de 60% do volume de água a ser utilizado apenas nas etapas-chave de lavagem.

Figura 34 – Cenário 3 para o reúso de águas



Contudo, é necessário realizar algumas considerações importantes em relação ao cenário destacado, principalmente no que diz respeito à razão entre a quantidade de água de reúso e a quantidade de água bruta, assim como à necessidade de ampliação do reservatório de água e à investigação de perdas ao longo do processo que podem impactar na avaliação quantitativa do reúso.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO GERAL

A partir dos resultados evidenciados neste estudo, pode-se considerar aspectos importantes que contribuam para a busca da redução de impactos ambientais nas atividades de beneficiamento têxtil no contexto local das lavanderias do APL do Agreste de Pernambuco e para a implantação de uma produção com perspectivas de viabilidade técnica e ambiental.

A análise do panorama da produção científica e das tendências de pesquisa relacionadas à sustentabilidade na indústria têxtil revelou um aumento no número de publicações sobre o tema nos últimos anos. Através dessa avaliação, ficou claro que aspectos como Produção Mais Limpa e Reúso de Águas são essenciais e merecem estudos aprofundados. A Produção Mais Limpa, com suas técnicas e dimensões, traz melhorias operacionais, processos e matérias-primas sustentáveis, redução de resíduos perigosos, produtos duráveis e gestão eficiente dos recursos hídricos. Quanto ao reúso de águas, as técnicas estudadas e implementadas recentemente têm contribuído para a obtenção de águas residuais têxteis tratadas de qualidade, adequadas para outros fins na própria indústria.

Os resultados aqui apresentados ressaltam a importância do consumo consciente de água nas lavanderias, bem como a necessidade de considerar medidas de economia de água e a busca por processos mais eficientes para reduzir o consumo e minimizar os impactos ambientais relacionados à utilização desse recurso.

O sistema de tratamento de efluentes da lavanderia estudada emprega processos físico-químicos para tratar os efluentes gerados. No entanto, o lançamento final em um corpo hídrico já poluído e a geração de lodo apresentam desafios ambientais significativos, além do fato de que não existe a prática de reúso na lavanderia. Portanto, é importante considerar medidas adicionais para reduzir a carga poluente, explorar opções de destinação final mais adequadas e avaliar possíveis melhorias no sistema de tratamento existente. Isso pode contribuir para a preservação do meio ambiente e a busca por uma operação mais sustentável.

A análise da água bruta e dos efluentes da lavanderia demonstrou características comuns encontradas na indústria têxtil, como variação nas características qualitativas devido a diferentes processos realizados. Além disso, verificou-se aspectos relacionados à presença de compostos químicos, alta demanda química de oxigênio, cor intensa devido ao uso de corantes, condutividade elétrica elevada, alcalinidade, dureza e presença de diferentes tipos de sólidos. Nesse sentido, essas informações tornam-se relevantes para entender os impactos ambientais e buscar soluções adequadas para o tratamento e gerenciamento dos efluentes da indústria têxtil.

Em relação ao efluente tratado na lavanderia, verificou-se que está em conformidade com os padrões de pH e turbidez estabelecidos pelas normas, porém encontra-se em desacordo em relação à DQO, caracterizado como um dos principais parâmetros de padrão de lançamento. Com isso, evidencia-se que existem oportunidades de melhoria em relação a estes parâmetros fazendo com que essas considerações possam direcionar esforços para aprimorar o sistema de tratamento e garantir o cumprimento das regulamentações ambientais.

De maneira geral, os testes de tratamento realizados mostraram-se mais eficientes do que os tratamentos realizados na ETE da lavanderia, principalmente em termos de turbidez e cor, evidenciando a necessidade de melhorias operacionais e possibilidades de otimização a nível de fim de tubo. A combinação de adsorção com coagulação utilizando sulfato de alumínio ou PAC, juntamente com a adição de carvão ativado, mostrou-se eficaz na remoção de turbidez, cor e STV. As dosagens mais altas de sulfato de alumínio e as dosagens mais baixas de PAC foram as mais eficientes na remoção de turbidez. Já para a remoção de cor, as dosagens mais altas de ambos os coagulantes foram mais eficazes. O tratamento com sulfato de alumínio apresentou melhores resultados na remoção de STV, mas a adição de carvão ativado melhorou a eficiência para ambos os coagulantes.

Identificou-se que existem possibilidades que favorecem a implementação do reúso de águas ao longo do processo produtivo na lavanderia, incluindo a utilização de águas residuais geradas em processos intermediários de lavagem, ao mesmo tempo em que destaca-se a necessidade de análises mais aprofundadas para a seleção de tratamentos adicionais e estudos de modificações na coleta e no transporte de efluentes ao longo dos processos de lavagem.

REFERÊNCIAS

ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Perfil do setor**. 2020. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 06 abr. 2022.

ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Síntese do comércio exterior brasileiro no setor têxtil e de confecção – fevereiro de 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/dados-comercio-exterior-login>. Acesso em: 15 abr. 2022.

ACAR, E.; KILIC, M.; GUNER, M. Measurement of sustainability performance in textile industry by using a multi-criteria decision making method. **Tekstil Ve Konfeksiyon**, v. 25, n. 1, p. 3-9, 2015. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/218280>. Acesso em: 03 mar. 2022.

AL SAWAF, M. B.; KARACA, F. Different stakeholders' opinions toward the sustainability of common textile wastewater treatment technologies in Turkey: A Case study Istanbul province. **Sustainable Cities and Society**, v. 42, p. 194-205, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.027>.

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, p. 595-603, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.008>.

AMARAL F. M., **Tratamento de efluente têxtil por processo anaeróbio e aeróbio**. Recife, PE. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

AMARAL F. M., KATO M. T., FLORÊNCIO L., GAVAZZA S. Color, organic matter and sulfate removal from textile effluents by anaerobic processes. **Bioresource Technology**. 163, 364-369, 2014.

AOUNI, A.; FERSI, C.; CUARTAS-URIBE, B.; BES-PIA, A.; ALCAINA-MIRANDA, M. I.; DHAHBI, M. Reactive dyes rejection and textile effluent treatment study using ultrafiltration and nanofiltration processes. **Desalination**, v. 297, p. 87-96, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.04.022>.

AOUNI, A.; FERSI, C.; DHAHBI, M. Performance evaluation of direct nanofiltration process to fouling by treating rinsing-bath effluents for water reuse. **Desalination and Water Treatment**, v. 52, n. 7-9, p. 1770-1785, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.813623>.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23^a ed. APHA: Washington, 2017.

AZANAW, A., BIRLIE, B., TESHOME, B.; JEMBERIE, M. Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, p. 100230, 2022.

BABAN, Ahmet; YEDILER, Ayfer; CILIZ, Nilgun Kiran. Integrated water management and CP implementation for wool and textile blend processes. **Clean-Soil Air Water**, v. 38, n. 1, p. 84-90, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.200900102>.

BAPTISTTELLA, A. M. S. **Tratamento terciário do efluente do polo têxtil de caruaru – PE com o uso do lodo galvânico**. 80 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

CAMILO, F. C.; ARAÚJO, T. P.; QUESADA, H. B.; MOURA, A. A.; MOISÉS, M. P.; BERGAMASCO, R.; FARIA, S. H.; BARROS, M. A. S. D. Synthesis of hydrochars derived from industrial laundry sludge and its application in the removal of cationic dye. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101999>.

CANALES, H. J. S. Tecnologías limpias como fuente de ventaja competitiva empresarial. **Academo**, v. 7, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30545/academo.2020.ene-jun.10>.

CASTRO, A. M.; NOGUEIRA, V.; LOPES, I.; ROCHA-SANTOS, T.; PEREIRA, R. Evaluation of the potential toxicity of effluents from the textile industry before and after treatment. **Appl. Sci.**, v. 9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9183804>.

CAVALCANTI, Marina Barros. **Pós-tratamento de efluente têxtil por processo oxidativo avançado utilizando reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

CAVALCANTI, F. M.; LIRA, M. R. C.; SILVA, J. A. A. Índice de Desempenho da Gestão Ambiental (IDGA) aplicado ao setor têxtil: um estudo em duas lavanderias industriais do Agreste pernambucano. **Gaia Scientia**, v. 13, n. 1, 2019.

CELEBI, M. D.; DILAVER, M.; KOBYA, M. A study of inline chemical coagulation/precipitation-ceramic microfiltration and nanofiltration for reverse osmosis concentrate minimization and reuse in the textile industry. **Water Science and Technology**, v. 84, n. 9, p. 2457-2471, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2021.439>.

CHAGAS, M. A. **Tratamento de efluente têxtil por processos físico-químico e biológico**. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

CHEN, L.; WANG, L.; WU, X.; DING, X. A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 1137-1143, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.006>.

CHUN HO, K.; TEOW, Y. H.; SUM, J. Y.; JIA NG, Z.; MOHAMMAD, A. W. Water pathways through the ages: Integrated laundry wastewater treatment for pollution prevention. **Science of The Total Environment**, v. 760, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143966>.

CLEMENTE, D.; GALVÃO, G. **Bibliometria: Teoria e Prática**. Curso de Difusão USP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção, São Paulo, 2019.

COMINOTE, M.; SILVA, G. L.; HERINGER, N. M. F.; GAZEL, F.; OLIVEIRA, R. C. S. Evaluation of treatment of textile effluent by electroflocculation with monitoring and automatic control considering a feasibility study of the use of photovoltaic Generation. **Periodico Tche Quimica**, v. 17, n. 35, p. 507-523, 2020. Disponível em: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1022052.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2022.

COSTA, A. F. S.; ALBUQUERQUE, C. D. C.; SALGUEIRO, A. A.; SARUBBO, L. A. Color removal from industrial dyeing and laundry effluent by microbial consortium and coagulant agents. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 203-210, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.001>.

COSTA, E. M.; OLIVEIRA NETO, G. C.; LUCATO, W. C. Avaliação da ecoeficiência da implantação da produção mais limpa em uma indústria têxtil. In: XI SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. **Anais [...]**. Resende, 2014.

CRIADO, S. P.; GONÇALVES, M. J.; TAVARES, L. B. B.; BERTOLI, S. L. Optimization of electrocoagulation process for disperse and reactive dyes using the response surface method with reuse application. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, 122690, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122690>.

CURIC, I.; DOLAR, D.; KARADAKIC, K. Textile wastewater reusability in knitted fabric washing process using UF membrane technology. **Journal of Cleaner Production**, v. 299, 126889, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126899>.

DONTHU, N.; KUMAR, S.; MUKHERJEE, D.; PANDEY, N.; LIM, W. M. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>.

DOTTO, J.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T.; PALÁCIO, S. M.; BERGAMASCO, R. Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 656-665, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>.

ESCAP – COMISSÃO ECONÔMICA E SOCIAL PARA A ÁSIA E O PACÍFICO. **Eco-efficiency Indicators: measuring resource-use efficiency and the impact of economic activities on the environment**. United Nations, 2009.

FERNANDES, A. K. S. **Reúso de água no processamento de jeans na indústria têxtil**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

FERREIRA FILHO, Eloy Alves; CHUI, Queenie Siu Hang. Qualidade de medições e neutralização de efluentes alcalinos com dióxido de carbono. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 169-174, 2006.

FISCHER, Aglaia; PASCUCCI, Stefano. Institutional incentives in circular economy transition: The case of material use in the Dutch textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 155, p. 17-32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.038>.

GARCIA, V. S. G.; ROSA, J. M.; BORRELY, S. I. Toxicity and color reduction of a textile effluent containing reactive red 239 dye by electron beam irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 172, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108765>.

GIANNETTI, B. F.; AGOSTINHO, F.; ERAS, J. J. C.; YANG, Z.; ALMEIDA, C. M. V. B. Cleaner production for achieving the sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, 122127, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122127>.

GUIMARÃES, L. B.; MALAGÓN, L. A. G.; SILVA, J.; BARAÚNA, O. S.; MARQUES, J. J. S. Potencial de aproveitamento da energia solar pra aquecimento de águas nas lavanderias industriais do APL de Confecções do Agreste de Pernambuco. *In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR*, Gramado, 2018. **Anais CBENS 2018**. Gramado, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/457>. Acesso em: 27 jun. 2021.

HALAZ, M. R. T.; TOSATO JÚNIOR, J. C. Processos oxidativos avançados e físico-químicos aplicados na remediação de efluentes têxteis. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 8, n. 14, 2012.

HAQUE, M. S.; NAHAR, N.; SAYEM, S. M. Industrial water management and sustainability: development of SIWP tool for textile industries of Bangladesh. **Water Resources and Industry**, v. 25, p. 100145, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100145>.

HILDEBRAND, C.; KUGLIN, V. B.; BRANDAO, H. L.; VILAR, Vitor J. P.; SOUZA, S. M. A. G. U.; SOUZA, A. A. U. Insights into nanofiltration of textile wastewaters for water reuse. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 16, n. 3, p. 591-600, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0665-8>.

HOINKIS, J.; DEOWAN, S. A.; PANTEN, V.; FIGOLI, A.; HUANG, R. R.; DRIOLI, E. Membrane Bioreactor (MBR) technology – a promising approach for industrial water reuse. **Procedia Engineering**, v. 33, p. 234-241, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1199>.

HUANG, A. K.; VEIT, M. T.; JUCHEN, P. T.; GONÇALVES, G. C.; PALÁCIO, S. M.; CARDOSO, C. O. Sequential process of coagulation/flocculation/sedimentation- adsorption - microfiltration for laundry effluent treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103226>.

KASAVAN, S.; YUSOFF, S.; FAKRI, M. F. R.; SIRON, R. Plastic pollution in water ecosystems: A bibliometric analysis from 2000 to 2020. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, 127946, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127946>.

KAZANCOGLU, I.; KAZANCOGLU, Y.; YARIMOGLU, E.; KAHRAMAN, A. A conceptual framework for barriers of circular supply chains for sustainability in the textile industry. **Sustainable Development**, v. 28, n. 5, p. 1477-1492, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.2100>.

KHAN, S.; ANAS, M.; MALIK, A. Mutagenicity and genotoxicity evaluation of textile industry wastewater using bacterial and plant bioassays. **Toxicology Reports**, v. 6, p. 193-201, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.02.002>.

KURT, E.; KOSEOGLU-IMER, D. Y.; DIZGE, N.; CHELLAM, S.; KOYUNCU, I. Pilot-scale evaluation of nanofiltration and reverse osmosis for process reuse of segregated textile dyewash wastewater. **Desalination**, v. 302, p. 24-32, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.05.019>.

LI, X.; WANG, L.; DING, X. Textile supply chain waste management in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 289, 125147, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125147>.

LIMA, L. R.; SAMPAIO, Y. S. B.; FREITAS, M. A. L.; LAGIOIA, U. C. T. Um estudo inferencial dos custos ambientais e das estações de tratamento de água nas lavanderias do Polo de Confeções do Agreste de Pernambuco. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 30-45, 2016. DOI: https://doi.org/10.21446/scg_ufrj.v11i3.13386.

LOMBARDI NETTO, A.; SALOMON, V. A. P.; ORTIZ-BARRIOS, M. A.; FLOREK-PASZKOWSKA, A. K.; PETRILLO, A.; OLIVEIRA, O. J. Multiple criteria assessment of sustainability programs in the textile industry. **International Transactions In Operational Research**, v. 28, n. 3, p. 1550-1572, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/itor.12871>.

LOPO, W. N.; LANZER, E. A. A influência da utilização do passador na qualidade do fio, do processo de fiação no sistema a rotor. **REAI – Revista de Estudos Acadêmicos Interdisciplinar**, v. 1, n. 1, p. 48-62, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unifebe.edu.br/index.php/reai/article/view/644>. Acesso em: 03 jun. 2021.

LORENA, E. M. G.; LORENA, C. M. G.; MEDEIROS, R. M.; EL-DEIR, S. G.; HOLANDA, R. M.; ARAÚJO, V. D. Modelo de gestão de riscos em lavanderias de beneficiamento no Arranjo Produtivo Local (APL) Têxtil e de Confeções de Pernambuco, Brasil. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 620-640, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v18i2.2881>.

LUIZ, S.; VALENTIM, A. F. **Lavanderia em jeans e a sustentabilidade em moda: comparativo entre processos tradicionais e ecológicos**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Design de Moda) – Instituto Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/1058>. Acesso em: 04 jun. 2021.

LUOMA, P.; PENTTINEN, E.; TAPIO, P.; TOPPINEN, A. Future images of data in circular economy for textiles. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 182, p. 121859, 2022.

MACÊDO, J. S.; COSTA, A. F. S. Beneficiamento de peças confeccionadas em jeans processos e sustentabilidade em lavanderias de Caruaru – PE. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 5., 2016, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: UCS, 2016. Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=712&ano=_quinto. Acesso em: 04 jun. 2021.

MALIK, A. Effect of Effluents from Textile Industries on the Soil Quality of Sanganer Industrial Area, Jaipur. **IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)**, v. 10, n. 11, 2017, p. 73-75.

MAJEWSKA-NOWAK, K.; KAWIECKA-SKOWRON, J. Ceramic membrane behaviour in anionic dye removal by ultrafiltration. **Desalination and Water Treatment**, v. 34, n. 1-3, p. 367-373, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2806>.

MAJUMDAR, A.; SINHA, S. K. Economic sustainability benchmarking of environmental initiatives: a case of wastewater treatment plant. **Benchmarking-An International Journal**, v. 28, n. 6, p. 2008-2022, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2020-0482>.

MARCELINO, D. M. S. **Avaliação da remoção de cor, matéria orgânica e sulfato de efluente têxtil através de reatores biológicos sequenciais**. 2013 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

MARCHETTO, Margarida; FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. Interferência do processo de coagulação na remoção de compostos orgânicos causadores de gosto e odor em águas de abastecimento mediante a aplicação de carvão ativado em pó. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 10, p. 243-252, 2005.

MARQUES, A. F. **Pós-tratamento por membranas da água residuária do processo de tingimento de indústria têxtil com vistas ao reúso**. 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MEIYAZHAGAN, S.; YUGESWARAN, S.; ANANTHAPADMANABHAN, P. V.; SURESH, K. Process and kinetics of dye degradation using microplasma and its feasibility in textile effluent detoxification. **Journal of Water Process Engineering**, v. 37, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101519>.

MENDES JÚNIOR, B. O. M. A indústria têxtil no Nordeste, Norte de Minas e Norte do Espírito Santo - Contextualização e Perspectivas. **Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, v. 104, n.101, 2019.

METHNENI, N.; MORALES-GONZÁLEZ, J. A.; JAZIRI, A.; MANSOUR, H. B.; FERNANDEZ-SERRANO, M. Persistent organic and inorganic pollutants in the effluents from the textile dyeing industries: Ecotoxicology appraisal via a battery of biotests. **Environmental Research**, v. 196, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110956>.

MILNITZ, D.; LUNA, M. M. M. Caracterização da indústria têxtil e de confecções do estado de Santa Catarina: principais elos, parceiros e produtos comercializados. **Revista da UNIFEBE**, v. 1, n. 22, p. 166-182, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unifebe.edu.br/index.php/revistaeletronicadaunifebe/article/view/627>. Acesso em: 03 jun. 2021.

MOHAN, S. M. Use of naturalized coagulants in removing laundry waste surfactant using various unit processes in lab-scale. **Journal of Environmental Management**, v. 136, p. 103-111, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.004>.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. N.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E.; SALLES, M. J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, A. Água de reúso: uma alternativa

sustentável para o Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 25, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>.

NADEEM, K.; GUYER, G. T.; DIZGE, N. Polishing of biologically treated textile wastewater through AOPs and recycling for wet processing. **Journal OF Water Process Engineering**, v. 20, p. 29-39, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.09.011>.

NADEEM, K.; GUYER, G. T.; KESKINLER, B.; DIZGE, N. Investigation of segregated wastewater streams reusability with membrane process for textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1437-1445, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.205>.

NASCIMENTO, C. O. C.; VEIT, M. T.; PALÁCIO, S. M.; GONÇALVES, G. C.; FAGUNDES-KLEN, M. R. Combined application of coagulation/flocculation/sedimentation and membrane separation for the treatment of laundry wastewater. **International Journal of Chemical Engineering**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/8324710>.

NEMA, A.; SRINIVASAN, B.; MAJOZI, T.; SRINIVASAN, R. A simple strategy to maximize water-reuse in multistage, multiproduct batch processes. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 168, p. 327-339, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.02.012>.

NEVES, T. I.; ABRAHÃO, R. Avaliação do aproveitamento do lodo em ETE industrial como fertilizante para cultivo AGRÍCOLA. In: SILVA, R. C. P.; SANTOS, J. P. O.; MELLO, D. P.; EL-DEIR, S. G. (Org.). **Resíduos sólidos: tecnologia e boas práticas de economia circular**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2018, p. 392-403.

NIINIMAKI, Kirsi; HASSI, Lotta. Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and clothing. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 16, p. 1876-1883, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.020>.

OLIVEIRA, R. G. **Caracterização das águas e efluentes em lavanderias de jeans no agreste pernambucano**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

OLIVEIRA NETO, G. C.; CORREIA, J. M. F.; SILVA, P. C.; SANCHES, A. G. O.; LUCATO, W. C. Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.334>.

OLIVEIRA NETO, G. C.; TUCCI, H. N. P.; CORREIA, J. M. F.; SILVA, P. C.; SILVA, V. H. C.; GANGA, G. M. D. Assessing the implementation of Cleaner Production and company sizes: Survey in textile companies. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/1558925020915585>.

OLIVEIRA NETO, G. C.; CORREIA, J. M. F.; TUCCI, H. N. P.; SILVA, P. C.; SILVA, D. Relationship between cleaner production practices and company size in the Brazilian textile industry. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 20, n. 2, p. 203-216, 2021a.

OLIVEIRA NETO, G. C.; SILVA, P. C.; TUCCI, H. N. P.; AMORIM, M. Reuse of water and materials as a cleaner production practice in the textile industry contributing to blue economy. **Journal of Cleaner Production**, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127075>.

OLIVEIRA NETO, G. C.; TUCCI, H. N. P.; CORREIA, J. M. F.; SILVA, P. C.; SILVA, D.; AMORIM, M. Stakeholders' influences on the adoption of cleaner production practices: A survey of the textile industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 126-145, 2021c. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.001>.

OZER, B.; GUVEN, B. Energy efficiency analyses in a Turkish fabric dyeing factory. **Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects**, v. 43, n. 7, p. 852-874, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1755392>.

OZTURK, E.; CINPERI, N. C. Water efficiency and wastewater reduction in an integrated woolen textile mil. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 686-696, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.021>.

OZTURK, E.; CINPERI, N. C.; KITIS, M. Green textile production: a chemical minimization and substitution study in a woolen fabric production. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 36, p. 45358-45373, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10433-8>.

OZTURK, E.; CINPERI, N. C.; KITIS, M.. Improving energy efficiency using the most appropriate techniques in an integrated woolen textile facility. **Journal of Cleaner Production**, v. 254, 120145, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120145>.

PANDA, S. K. B. C.; SEN, K.; MUKHOPADHYAY, S. Sustainable pretreatments in textile wet processing. **Journal of Cleaner Production**, v. 329, 129725, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129725>.

PATTNAIK, P.; DANGAYACH, G. S. Analysis of influencing factors on sustainability of textile wastewater: a structural equation approach. **Water Air and Soil Pollution**, v. 230, n. 7, 156, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4206-x>.

PISITSAK, P.; TUNGSOMBATVISIT, N.; SINGHANU, K.. Utilization of waste protein from Antarctic krill oil production and natural dye to impart durable UV-properties to cotton textiles. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 1215-1223, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.010>.

PIZATO, E., LOPES, A. C., ROCHA, R. D. C., BARBOSA, A. D. M.; CUNHA, M. A. A. D. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, p. 1027-1035. 2017.

PUNZI, M. **Treatment of Textile Wastewater by Combining Biological Processes and Advanced Oxidation**. Lund University: Gothenburg, 2015.

QI, L.; WANG, X.; XU, Q. Coupling of biological methods with membrane filtration using ozone as pre-treatment for water reuse. **Desalination**, v. 270, p. 264-268, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.054>.

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. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 26, n. 1, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1149-19>.

RAJ, D. S.; NAGARAJAN, S. V.; RAMAN, T.; VENKATACHALAM, P.; PARTHASARATHY, M. Remediation of textile effluents for water reuse: Decolorization and desalination using *Escherichia fergusonii* followed by detoxification with activated charcoal. **Journal of Environmental Management**, v. 277, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111406>.

RAMIREZ-PEREDA, B.; ÁLVAREZ-GALLEGOS, A.; BUSTOS-TERRONES, Y. A.; SILVA-MARTINEZ, S.; HERNANDEZ-PEREZ, A. Effective electro-fenton treatment for a real textile effluent: a case study. **Journal of Water Process Engineering**, v. 37, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101434>.

RAMLOW, H.; CORREA, M. V. H.; MACHADO, R. A. F.; BIERHALZ, A. C. K.; MARANGONI, C. Intensification of water reclamation from textile dyeing wastewater using thermal membrane technologies - Performance comparison of vacuum membrane distillation and thermopervaporation. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 146, 107695, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107695>.

RAMOS, M. D. N.; CLAUDIO, C. C.; REZENDE, P. H. V.; CABRAL, L. P.; 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 de Química**, v. 12, n. 4, p. 913-929, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20200073>.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102273>.

REDDY, N.; ZHANG, Y.; YANG, Y. Corn distillers dried grains as sustainable and environmentally friendly warp sizing agents. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 1, n. 12, p. 1564-1571, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1021/sc4002017>.

REIS, F. F. **As inovações na indústria brasileira do denim**. 2017. 148 f. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

RIBEIRO, V. A. S.; FERRARI, A. M.; TAVARES, C. R. G. Fotocatálise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans: comparação entre TiO₂ e ZnO na eficiência de remoção de cor. **Brazilian Journal of Business**, v. 2, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34140/bjbv2n3-062>.

RIBEIRO, V. A. S.; TAVARES, C. R. G. Análise do reuso de efluente de lavanderia de jeans tratado por fotocatalise heterogênea. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 2, p. 395-404, 2018.

ROCHA, G. F.; LIMA, S. M.; SANTOS, M. S. F. Análise do reaproveitamento da água no processo produtivo em uma lavanderia têxtil da cidade de Teresina. In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais [...]**. João Pessoa, 2016.

ROSA, J. M.; TAMBOURGI, E. B.; VANALLE, R. M.; GAMARRA, F. M. C.; SANTANA, J. C. C.; ARAÚJO, M. C. Application of continuous H₂O₂/UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs and environmental impacts of textile effluents. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, 119012, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119012>.

ROY, M.; SEN, P.; PAL, P. An integrated green management model to improve environmental performance of textile industry towards sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, 122656, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122656>.

SAHINKAYA, Erkan; TUNCMAN, Selen; KOC, Ibrahim; GUNER, Ali Riza; CIFTCI, Suheyli; AYGUN, Ahmet; SENGUL, Serhat. Performance of a pilot-scale reverse osmosis process for water recovery from biologically-treated textile wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 249, 109382, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109382>.

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-35552007000100013>.

SAMUCHIWAL, S.; BHATTACHARYA, A.; MALIK, A. Treatment of textile effluent using an anaerobic reactor integrated with activated carbon and ultrafiltration unit (AN-ACF-UF process) targeting salt recovery and its reusability potential in the pad-batch process. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101770>.

SAMUCHIWAL, S.; GOLLA, D.; MALIK, A. Decolourization of textile effluent using native microbial consortium enriched from textile industry effluent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 402, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123835>.

SANTOS, J. J. **Avaliação do Arranjo Produtivo Local de Confecção no município de Riacho das Almas no estado de Pernambuco**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Pública) – Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SANTOS, T. D. **Tratamento de efluente de lavanderia têxtil utilizando plasma**. 2018. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2018.

SANTOS, C. N.; CARMO, B. C. O desafio da sustentabilidade nas lavanderias industriais de Cianorte. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 83771-83785, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-714>.

SANTOS, T. C. G.; LIRA, E. B. S.; ALMEIDA, C. C. S.; EL-DEIR, S. G. APL como estratégia de gerenciamento dos resíduos sólidos de confecções do Agreste pernambucano. In: SANTOS, J. P. O.; SILVA, R. C. P.; MELLO, D. P.; EL-DEIR, S. G. (Org.). **Resíduos sólidos: impactos socioeconômicos e ambientais**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2018, p. 161-172.

SATHISHKUMAR, K.; ALSALHI, M. S.; SANGANYADO, E.; DEVANESAN, S.; ARULPRAKASH, A.; RAJASEKAR, A. Sequential electrochemical oxidation and bio-

treatment of the azo dye congo red and textile effluent. **Journal of Photochemistry & Photoiology, B: Biology**, v. 200, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111655>.

SHAHI, Shashi K.; SHIVA, Atul; DIA, Mohamed. Integrated sustainable supply chain management and firm performance in the Indian textile industry. **Qualitative Research In Organizations and Management**, v. 16, n. 3-4, p. 614-635, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/QROM-03-2020-1904>.

SHRIVASTAVA, R.; SINGH, N. K. Assessment of water quality of textile effluent and its treatment by using coagulants and plant material. **Materialstoday: proceedings**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.373>.

SILVA, A. F. **Estudo da disponibilidade de água para abastecimento público em Itapagipe, MG**. 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SILVA, Lais G. M.; MOREIRA, Francisca C.; CECHINEL, Maria Alice P.; MAZUR, Luciana P.; SOUZA, Antonio A. U.; SOUZA, Selene M. A. Guelli U.; BOAVENTURA, Rui A. R.; VILAR, Vitor J. P. Integration of Fenton's reaction based processes and cation exchange processes in textile wastewater treatment as a strategy for water reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 272, 111082, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111082>.

SILVA, Paulo Cesar; OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso; CORREIA, Manuel Ferreira; TUCCI, Henricco Nieves Pujol. Evaluation of economic, environmental and operational performance of the adoption of cleaner production: survey in large textile industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, 123855, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123855>.

SILVA, R. G.; SILVA, V. P. Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 63, p. 494-507, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633682173>.

SILVA, Regilene de Sousa; RAMLOW, Heloisa; D' AVILA, Carolina Kramer Cavalcanti; SIQUEIRA, Rita de Cassia Curto Valle; MACHADO, Ricardo Antonio Francisco; MARANGONI, Cintia. Steady state evaluation with different operating times in the direct contact membrane distillation process applied to water recovery from dyeing wastewater. **Separation and Purification Technology**, v. 230, 115892, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115892>.

SILVA, T. L.; RONIX, A.; PEZOTI, O.; SOUZA, L. S.; LEANDRO, P. K. T.; BEDIN, K. C.; BELTRAME, K. K.; CAZETTA, A. L.; ALMEIDA, V. C. Mesoporous activated carbon from industrial laundry sewage sludge: Adsorption studies of reactive dye Remazol Brilliant Blue R. **Chemical Engineering Journal**, v. 303, p. 467-476, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.009>.

SILVA, L. D.; DANTAS, P. R.; PEREIRA NETO, L. M.; ARRUDA, V. C. M.; TAVARES, R. G.; SILVA, V. P. S. Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil. **Revista GEAMA**, v. 5, n. 1, 2019.

SILVA, P. C.; OLIVEIRA NETO, G. C.; CORREIA, J. M. F.; TUCCI, H. N. P. Evaluation of economic, environmental and operational performance of the adoption of cleaner production: survey in large textile industries. **Journal of Cleaner Production**, V. 278, 123855, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123855>.

SILVA FILHO, A. R. A.; DUARTE, A. D.; SINESIO, E. P.; SILVA, G. L.; PESSÔA, S. G. S. Classificação, caracterização e diagnóstico das lavanderias de beneficiamento de jeans na cidade de Caruaru-PE, no Agreste Pernambucano. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, 2021a. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12186>.

SILVA FILHO, A. A. R.; DUARTE, A. D.; PEDROSA, T. D.; SILVA, G. L.; PESSÔA, S. G. S. Análise da importância do reúso da água em lavanderias de beneficiamento de jeans. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, 2021b. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.14402>.

SISWOYO, E.; UTARI, A. W.; MUNGKARI, L. G. N. Adsorption combined phytoremediation system for treatment of laundry wastewater. **MATEC Web of Conferences**, v. 280, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928005002>.

SOUZA, V. C. **Avaliação citogenotóxica de efluente têxtil tratado por processo biológico e físico-químico**. 2017. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.

SOUZA, S. M. A. G. U.; BONILLA, K. A. S.; SOUZA, A. A. U. Removal of COD and color from hydrolyzed textile azo dye by combined ozonation and biological treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, p. 35-42, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.02.053>.

SOUZA, P. C.; PEREIRA, N. C.; GONÇALVES, M. S.; CONSOLIM FILHO, N.; RODRIGUES, P. H.; JAMARIM, V. M. Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação. **Revista E-XACTA**, v. 9, n. 2, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v9i2.1953>.

STARLING, Maria Clara V. M.; CASTRO, Luiz Augusto S.; MARCELINO, Rafaela B. P.; LEAO, Monica M. D.; AMORIM, Camila C. Optimized treatment conditions for textile wastewater reuse using photocatalytic processes under UV and visible light sources. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 7, p. 6222-6232, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6157-8>.

TAYYAB, M.; JEMAI, J.; LIMC, H.; SARKAR, B. A sustainable development framework for a cleaner multi-item multi-stage textile production system with a process improvement initiative. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119055>.

TSENG, Ming -Lang; BUI, Tat-Dat. Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1376-1389, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.014>.

USEPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES. **Guidelines for Water Reuse**. Washington: USEPA, 2012.

VIANA, D. A.; HÉKIS, H. R.; FRANCISCO, C. A. C.; SOARES, M. L. A simulação computacional como ferramenta de análise e dimensionamento do recurso «Carro Rolão» no setor de beneficiamento em uma indústria têxtil. **Revista Espacios**, v. 39, n.6, p. 13-19, 2018. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n06/18390613.html>. Acesso em: 03 jun. 2021.

VINETA, S.; SILVANA, Z.; SANJA, R.; GOLOMEOVA, S. Methods for waste Waters treatment in textile industry. *In*: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE, **Anais [...]**, Gabrovo, 2014.

WADAAN, M. A., BAABBAD, A., KHAN, M. F., SHANMUGANATHAN, R.; DANIEL, F. Phytotoxicity and cytotoxicity attributes of immobilized *Bacillus cereus* treated and untreated textile effluents on *Vigna mungo* seeds and *Artemia franciscana* larvae. **Environmental Research**, v. 231, p. 116111, 2023.

XU, Suxin; CHEN, Jiangang; WANG, Bijia; YANG, Yiqi. Sustainable and hydrolysis-free dyeing process for poly lactic acid using nonaqueous medium. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 3, n. 6, p. 1039-1046, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1021/sc500767w>.

XU, Suxin; CHEN, Jiangang; WANG, Bijia; YANG, Yiqi. An environmentally responsible polyester dyeing technology using liquid paraffin. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 987-994, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.114>.

XU, Chen-ke; CHENG, Hua; LIAO, Zhong-ju. Towards sustainable growth in the textile industry: a case study of environmental policy in China. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 27, n. 5, p. 2325-2336, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/79720>.

YANG, Xuefei; LOPEZ-GRIMAU, Victor. Reduction of cost and environmental impact in the treatment of textile wastewater using a combined MBBR-MBR system. **Membranes**, v. 11, n. 11, 892, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes11110892>.

YANG, Xuefei; LOPEZ-GRIMAU, Victor; VILASECA, Mercedes; CRESPI, Marti. Treatment of textile wastewater by CAS, MBR, and MBBR: a comparative study from technical, economic, and environmental perspectives. **Water**, v. 12, n. 5, 1306, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051306>.

YANG, Yiduo; HE, Wanwen; CHEN, Fangli; WANG, Laili. Water footprint assessment of silk apparel in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, 121050, 2020b, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121050>.

YIN, Hua; QIU, Peiwen; QIAN, Yuange; KONG, Zhuwen; ZHENG, Xiaolong; TANG, Zhihua; GUO, Huafang. Textile wastewater treatment for water reuse: a case study. **Processes**, v. 7, n. 1, 34, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr7010034>.

ZANONI, MARIA V. BOLDRIN; YAMANAKA, HIDEKO. **Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. 2016.

ZAPATA-GARZA, C. G.; DEMMLER, M.; URIBE-URÁN, A. P. El liderazgo en la implementación de una cultura ecoeficiente en las organizaciones. **Producción + Limpia**, v. 13, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22507/pml.v13n1a4>.

ZENG, J.; QU, J.; MA, H.; GOU, X. Characteristics and Trends of household carbon emissions research from 1993 to 2019: a bibliometric analysis and its implications. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, 126468, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126468>.

ZHANG, Yun; KANG, Hong; HOU, Haochen; SHAO, Shuai; SUN, Xiaoyang; QIN, Chenglu; ZHANG, Shushen. Toward an systemic navigation framework to integrate sustainable development into the company. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 199-214, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.054>.

ZHANG, J.; MIRZA, N. R.; HUANG, Z.; DU, E.; PENG, M.; SHAN, G.; WANG, Y.; PAN, Z.; LING, L.; XIE, Z. Evaluation of direct contact membrane distillation coupled with fractionation and ozonation for the treatment of textile effluent. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101789>.

ZHAO, Yi; ZHAO, Yuzhu; XU, Helan; YANG, Yiqi. A sustainable slashing industry using biodegradable sizes from modified soy protein to replace petro-based Poly(Vinyl Alcohol). **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 4, p. 2391-2397, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1021/es504988w>.