



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

FERNANDA PEREIRA DOS SANTOS

**INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PELA
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE CORANTES,
EFLUENTES E LODOS PROVENIENTES DO POLO TÊXTIL DE
PERNAMBUCO**

RECIFE - PE

2023

FERNANDA PEREIRA DOS SANTOS

**INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PELA
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE CORANTES,
EFLUENTES E LODOS PROVENIENTES DO POLO TÊXTIL DE
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Alex Souza Moraes

Coorientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

RECIFE - PE

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)

S237i

dos Santos, Fernanda Pereira

Indicadores de desenvolvimento sustentável pela caracterização química e tecnológica de corantes, efluentes e lodos provenientes do polo têxtil de Pernambuco / Fernanda Pereira dos Santos. - 2023.
87 f. : il.

Orientador: Alex Souza Moraes.

Coorientador: Romildo Morant de Holanda.

Inclui referências e apêndice(s).

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

1. Lavanderia têxtil. 2. Caruaru. 3. Metais pesados. 4. Poluição industrial. 5. Produção mais limpa. I. Moraes, Alex Souza, orient. II. Holanda, Romildo Morant de, coorient. III. Título

CDD 620.8

FERNANDA PEREIRA DOS SANTOS

**INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PELA
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE CORANTES,
EFLUENTES E LODOS PROVENIENTES DO POLO TÊXTIL DE
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Souza Moraes

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva

Departamento de Tecnologia Rural
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Otávio Pereira dos Santos Júnior

Instituto Federal de Pernambuco – Campus Vitória

Dedico essa dissertação a todos os profissionais da área ambiental, que com grandes esforços, vêm lutando por um meio ambiente ecologicamente equilibrado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu guia, amigo e protetor, pela orientação da carreira profissional e por sentir a sua linda presença em todos os momentos em que vivenciei a experiência do mestrado. Sou grata a Ti, Senhor, pela saúde, sabedoria e inteligência, que mesmo sem merecer, com Tua infinita misericórdia me presenteasse.

Ao presente mais valioso que já recebi, agradeço aos meus pais, Amaro e Miriam pelos ensinamentos proporcionados ao longo da vida, por influenciarem na pessoa que sou hoje, por me mostrarem que a coragem, bondade e gentileza sempre valem a pena; aos meus irmãos Fabiano, Flávio, Fabíola e Fabiane pelo exemplo de companheirismo e suporte que me cercarão ao longo de toda a vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade concedida a mim, de ser uma de suas discentes e por todas as infinitas vezes que contribuiu diretamente para o meu crescimento intelectual e moral. Minha eterna gratidão a essa instituição, que serve de grande exemplo de empatia para com o próximo. Em especial atenção ao PPEAMB (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental), incluindo o corpo técnico, docentes e discentes, pela oportunidade de ter participado desse curso espetacular.

A Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa auxílio concedida e pela a oportunidade de desenvolvimento da pesquisa, na qual espero que possa incentivar a criatividade e vontade de outros pesquisadores, em se aperfeiçoarem e elaborarem novos projetos que possam impactar positivamente toda a sociedade.

Entre todos os envolvidos, agradeço especialmente ao professor orientador e amigo Alex Moraes, pela dedicação, paciência e acompanhamento, não apenas nesta dissertação, mas em todos os momentos em que tive a oportunidade de estar ao lado dele. Ao professor Romildo de Holanda por ser um excelente profissional da área de meio ambiente. Aprender com a experiência de ambos foi incrível, espero ter usufruído de todo conhecimento com bastante sabedoria. Aos professores participantes da banca examinadora, pelas valiosas sugestões e colaborações.

À lavanderia têxtil que me forneceu as amostras de afluentes e efluente têxteis e ao laboratório onde foi realizado os experimentos, sem os quais não seria possível o

desenvolvimento das análises, bem como as considerações propostas com os resultados encontrados.

Aos colegas da turma de pós-graduação, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas. À cidade de Caruaru, por ter sido o berço onde o presente estudo foi desenvolvido. E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com essa pesquisa e com o meu crescimento moral e intelectual. Obrigada!

Eu também quero a volta à natureza. Mas essa volta não significa ir para trás, e sim para a frente.

(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

A indústria têxtil desempenha um papel vital na economia global, no Brasil, país que ocupa a quinta colocação na produção têxtil mundial, o setor vem se mostrando fundamental na geração de emprego e renda. O estado de Pernambuco é considerado um dos maiores polos têxteis industriais do país, onde são realizadas diversas atividades de beneficiamento de roupas. No entanto, para a realização da maioria dos seus processos, a indústria exige o uso de exacerbado volume de água e conseqüentemente uma grande geração de efluente têxtil. Esses afluentes são de alta preocupação ambiental devido ao seu complexo conteúdo químico, compostos por diversos insumos, principalmente os corantes, que são consumidos apenas parcialmente, resultando na geração de lodo têxtil e águas residuais repletos de metais pesados, conhecidos por sua alta toxicidade e baixa biodegradabilidade, que podem causar efeitos nocivos ao ser humano e ao meio ambiente. Dessa maneira, a presente pesquisa buscou investigar o potencial de carga poluidora de diversos metais pesados, para estabelecer indicadores de qualidade no polo têxtil de Pernambuco. Para isso a pesquisa foi iniciada através da análise e entendimento do processo de beneficiamento e tingimento nas lavanderias, bem como a realização do levantamento dos insumos utilizados em todo processo produtivo, inclusive na estação de tratamento de efluente. O foco das análises se deu através do conhecimento de quais produtos são utilizados dentro da lavanderia estudada, em especial os corantes empregados, e os efluentes antes e depois da ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), sendo analisado os seguintes metais pesados: Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Em relação a análise de afluentes e efluentes realizada, os requisitos legais de lançamento foram cumpridos com perfeição, exceto em um item, que corresponde a 12,5% do total dos compostos analisados, que foi o manganês com o valor de 9953,00 mg/L antes da ETE e 11,78 mg/L depois da ETE, sendo que a legislação CONAMA 430/11 permite o lançamento de efluentes nos corpos hídricos de apenas 1 mg/L do manganês. Assim, se faz necessário controlar o uso de compostos químicos presentes nos afluentes, diminuindo principalmente, as substâncias que contenham manganês, bem como uma maior integração do setor público, legislativo e judiciário, com vistas a melhorar a eficiência do efluente em relação aos poluentes gerados para adequação a legislação. Também ficou evidente que existe a necessidade de caracterização mais detalhada e monitoramento constante dos efluentes líquidos e resíduos sólidos gerados pela atividade têxtil no estado de Pernambuco para dimensionar o grau de impacto ambiental presente nos corpos aquáticos e sedimentos da região. Inclusive, através da geração da biomassa na indústria local é possível inseri-la como substituto para a lenha nas caldeiras, reduzindo assim custos com a disposição e transporte de resíduos e diminuindo, de certa forma, os impactos ambientais do setor têxtil. Somado a essa ideia, através da análise de aspectos e impactos ambientais da presente lavanderia, foram criados indicadores ambientais e elaboradas diversas outras propostas de melhorias com base na produção mais limpa, a fim de melhorar o processo de produção têxtil e adequá-la para o mundo do trabalho, tornando-a mais competitiva e ambientalmente eficiente.

Palavras-chave: Lavanderia têxtil; Caruaru; Metais pesados; Poluição industrial; Produção mais limpa.

ABSTRACT

The textile industry plays a vital role in the global economy, in Brazil, a country that ranks fifth in world textile production, the sector has proven to be fundamental in generating employment and income. The state of Pernambuco is considered one of the largest industrial textile centers in the country, where several clothing processing activities are carried out. However, to carry out most of its processes, the industry requires the use of an excessive volume of water and, consequently, a large generation of textile effluent. These effluents are of high environmental concern due to their complex chemical content, composed of several inputs, mainly dyes, which are only partially consumed, resulting in the generation of textile sludge and wastewater full of heavy metals, known for their high toxicity and low biodegradability, which can cause harmful effects to humans and the environment. Thus, this research sought to investigate the potential polluting load of various heavy metals, to establish quality indicators in the textile center of Pernambuco. For this, the research was initiated by analyzing and understanding the processing and dyeing process in the laundries, as well as carrying out a survey of the inputs used in the entire production process, including the effluent treatment station. The focus of the analyzes was through the knowledge of which products are used within the studied laundry, in particular the dyes used, and the effluents before and after the ETE (Effluent Treatment Station), being analyzed the following heavy metals: Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn. Regarding the analysis of effluents carried out, the legal requirements for release were perfectly fulfilled, except for one item, which corresponds to 12.5% of the total compounds analyzed, which was manganese with a value of 9953.00 mg/L before the ETE and 11.78 mg/L after the ETE, and the CONAMA 430/11 legislation allows the release of effluents into water bodies with only 1 mg/L of manganese. Thus, it is necessary to control the use of chemical compounds present in the tributaries, mainly reducing the substances that contain manganese, as well as a greater integration of the public, legislative and judicial sectors, with a view to improving the efficiency of the effluent in relation to the pollutants generated. for compliance with legislation. It was also evident that there is a need for more detailed characterization and constant monitoring of liquid effluents and solid waste generated by textile activity in the state of Pernambuco to measure the degree of environmental impact present in water bodies and sediments in the region. Even through the generation of biomass in the local industry, it is possible to insert it as a substitute for firewood in the boilers, thus reducing costs with the disposal and transport of waste and decreasing, to a certain extent, the environmental impacts of the textile sector. In addition to this idea, through the analysis of environmental aspects and impacts of the present laundry, environmental indicators were created and several other proposals for improvements based on cleaner production were created, in order to improve the textile production process and adapt it to the world of work, making it more competitive and environmentally efficient.

Keywords: Textile laundry; Caruaru; Heavy metals; Industrial pollution; Cleaner production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Produção mundial de têxteis.....	19
Figura 2 -	Esquema dos processos de produção e os principais poluentes de cada etapa	21
Figura 3 -	Métodos de tratamento de efluentes têxteis atualmente disponíveis.....	27
Figura 4 -	Localização do município de Caruaru – PE.....	39
Figura 5 -	Fluxo de inserção dos insumos no processo produtivo.....	42
Figura 6 -	Fluxograma do processo de análise dos metais.....	44
Figura 7 -	Fibras têxteis presentes na lavanderia Y.....	45
Figura 8 -	Fluxograma das etapas de beneficiamento da “lavanderia Y”.....	46
Figura 9 -	Laboratório de química da “lavanderia Y”.....	48
Figura 10 -	Utilização de permanganato de potássio através de pistola de compressão.....	48
Figura 11 -	Máquinas industriais de lavar da “lavanderia Y”.....	49
Figura 12 -	Peças separadas na “lavanderia Y”, prontas para a expedição.....	52
Figura 13 -	Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes da “lavanderia Y”.....	53
Figura 14 -	Entrada do efluente bruto na ETE da “lavanderia Y”.....	54
Figura 15 -	Leitos de Secagem da “ETE Y”.....	57
Figura 16 -	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.....	61
Figura 17 -	Sequência de priorização do gerenciamento dos resíduos sólidos.....	62
Figura 18 -	Lenha utilizada na queima da caldeira na “Lavanderia Y”.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da análise de efluentes da “lavanderia Y”.....	59
Tabela 2 - Eficiência da ETE na “lavanderia Y”.....	59
Tabela 3 - Comparação da análise de efluentes e a legislação.....	60
Tabela 4 - Entrada, saída, aspecto ambiental e impacto negativo da “lavanderia Y”.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Corantes e seus efeitos nos organismos.....	25
Quadro 2 -	Padrões de qualidade da cor em alguns estados brasileiros.....	32
Quadro 3 -	Processos e efeitos da “Lavanderia Y” na etapa de lavagem.....	47
Quadro 4 -	Produtos químicos utilizados na “lavanderia Y”.....	50
Quadro 5 -	Principais impactos ambientais na “lavanderia Y”.....	63
Quadro 6 -	Indicadores ambientais para a “lavanderia Y”.....	66
Quadro 7 -	Controle e critério na aquisição da matéria-prima.....	68
Quadro 8 -	Substituição de produtos químicos.....	69
Quadro 9 -	Redução e reutilização de resíduos.....	71
Quadro 10 -	Medidas de redução na geração de poluentes atmosféricos.....	72

LISTA DE SIGLAS

ABIT - Associação Brasileira Da Indústria Têxtil E De Confecção

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas

APL - Arranjo Produtivo Local

CF - Constituição Federal

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente

DNA - Ácido Desoxirribonucleico

DQO - Demanda Química De Oxigênio

ETE - Estação De Tratamento De Efluente

FISPQ – Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

MPPE - Ministério Público de Pernambuco

NBR - Norma Brasileira

ODS - Objetivos Do Desenvolvimento Sustentável

P+L - Produção Mais Limpa

pH - Potencial Hidrogeniônico

PIB - Produto Interno Bruto

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo geral	18
2.2. Objetivos específicos	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1. Indústria Têxtil	19
3.2. Lavanderias Industriais Têxteis	20
3.2.1. Insumos do Processo Produtivo	21
3.2.2. Insumos da Estação de Tratamento de Efluentes	22
3.3. Corante Têxtil	23
3.4. Efluente Têxtil	26
3.5. Lodo Têxtil	28
3.6. Metais Pesados	29
3.7. Legislação	31
3.8. Ferramenta de Gestão Ambiental – Produção mais Limpa (P+L)	35
4. MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1. Área de estudo	39
4.2. Coleta e análise de dados	41
4.2.1. Identificação das etapas e produtos envolvidos nos processos das lavanderias ...	41
4.2.2. Caracterização das amostras de efluentes, antes e depois da ETE da lavanderia ..	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1. Descrição do processo produtivo	45
5.2. Caracterização da estação de tratamento de efluente da “lavanderia Y”	52
5.3. Análise do efluente têxtil	58
5.4. Aspectos, Impactos e Indicadores ambientais	61
5.5. Boas práticas ambientais com a aplicação do P+L	66
5.5.1. Controle do Recebimento de Matérias-Primas	67
5.5.2. Substituição de Produtos Químicos	68
5.5.3. Resíduos Sólidos Gerados	70
5.5.4. Redução da Geração de Poluentes Atmosféricos	72
6. CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	75

APÊNDICE A - ASPECTOS E IMPACTOS NOS PROCESSOS	86
APÊNDICE B: OBJETIVOS E METAS AMBIENTAIS.....	87

1. INTRODUÇÃO

A partir do final do século XIX, devido à rápida industrialização, a poluição passou a ser uma preocupação global para os seres humanos (AKTARUZZAMAN et al. 2014; KUMAR e MAITI, 2015; WANG et al., 2017). O impacto adverso dessa urbanização não planejada trouxe consequências para diferentes compartimentos do meio ambiente, incluindo solo, sedimentos e água, bem como na ecologia e biodiversidade como um todo.

Uma das geradoras de impactos negativos para o meio ambiente são as indústrias, pois para atender as demandas, o crescimento industrial ocorre e isso desencadeia no consumo de recursos e na geração de resíduos, inclusive no aumento das águas residuais (ANANDAN; PONNUSAMY; ASHOKKUMAR, 2020). Dessa maneira, é necessário incorporar sistemas sustentáveis para alcançar melhorias dentro do processo industrial e atingir a desejada conservação ambiental necessária para a sustentabilidade de uma empresa (LATIF et al., 2017).

A indústria têxtil é considerada uma das mais importantes do ponto de vista econômico mundial por estar presente na vida diária da população, apesar disso a mesma está se tornando uma das principais fontes de poluição ambiental no mundo em termos de qualidade e quantidade (ROY et al., 2018). Por se destacarem como uma das maiores consumidoras de água e agentes químicos para a realização de seus processos, a indústria têxtil gera uma grande quantidade de águas residuais e lodo têxtil que contêm uma exacerbada quantidade de matéria orgânica, produtos químicos derivados de agentes fixadores, detergentes, corantes e sais sendo, portanto, uns dos mais poluentes entre todos os resíduos industriais (MUNAGAPATI e KIM, 2016).

Dentre os poluentes mais representativos presentes nos processos da indústria têxtil, pode-se citar os corantes (MOUSAVI et al., 2019). Esta indústria usa cerca de 10.000 corantes diferentes, onde até 40% da cor é descarregada no efluente da operação de tingimento, gerando uma água residual altamente colorida (ROY et al., 2018). Os afluentes e lodo têxtil poluídos com corantes são geralmente considerados altamente tóxicos, podendo causar alergia, dermatites, irritação na pele, câncer e mutações em humanos, além de resultar na perturbação do equilíbrio ecológico.

Tratar um afluente e resíduo têxtil principalmente de operações de tingimento está sendo cada vez mais regulamentado e é amplamente reconhecido como um problema

significativo (AYED et al., 2017). Somado a isso, presentes nesses corantes estão os metais pesados, que não são biodegradáveis, portanto, se acumulam em órgãos primários do corpo e levam a vários sintomas de doenças (DADI et al.2017). Assim, o efluente têxtil não tratado ou tratado de forma incompleta, bem como o lodo têxtil produzido pode ser prejudicial à vida aquática e terrestre ao afetar adversamente o ecossistema natural e causar efeitos de saúde a médio e longo prazo (CHUNG, 2016).

No agreste pernambucano, o setor têxtil predomina na movimentação da economia local e isso favorece o crescimento econômico da região, aumentando os índices de emprego e renda. Apesar disso, a área ambiental vem sendo desconsiderada em sua totalidade, tendo em vista que a maioria desses empreendimentos são informais (CNI, 2017) e que nem todas as indústrias possuem uma estação de tratamento de efluente adequada, causando diversos problemas do ponto de vista ambiental, econômico e social.

Devido a essa problemática presente na região do agreste pernambucano, o estudo buscou entender quais os insumos são utilizados nos processos de uma lavanderia têxtil, principalmente em relação aos corantes, que além da sua capacidade poluidora, quando lançados nos rios bloqueiam a absorção da luz nesses corpos aquáticos. Também foi analisado as composições dos efluentes líquidos, com relação a alguns metais pesados, antes e depois da Estação de Tratamento de Efluentes.

Através do levantamento dos produtos utilizados, o conhecimento do processo produtivo e das análises de metais pesados nos efluentes foi possível estabelecer indicadores de qualidade para a lavanderia têxtil em questão, uma vez que através do rastreamento dos materiais que os constituem, se tornou possível determinar tudo o que é transferido desde os insumos até o final do ciclo produtivo na lavanderia. E através dessa proposta de melhoramento do processo produtivo, é possível adequar outras empresas têxteis para um mercado de trabalho onde o meio ambiente é tido como um dos pilares do desenvolvimento industrial.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Monitorar a qualidade dos ciclos produtivos das lavanderias têxteis, principalmente em relação aos metais pesados, para propor alternativas de mitigação das cargas poluidoras e enfatizar a otimização econômica, ambiental e social no processo de produção.

2.2. Objetivos específicos

- Levantar o fluxo e os insumos utilizados no processo geral das lavanderias têxteis;
- Analisar alguns dos metais pesados que estão presente nos afluentes e efluentes têxteis, bem como as quantidades existentes nas referidas amostras;
- Avaliar a eficiência do tratamento dos efluentes com base nos requisitos legais;
- Realizar a integração de estratégias econômicas, ambientais e sociais para a melhoria de processos, redução de custos e diminuição do impacto negativo ambiental.

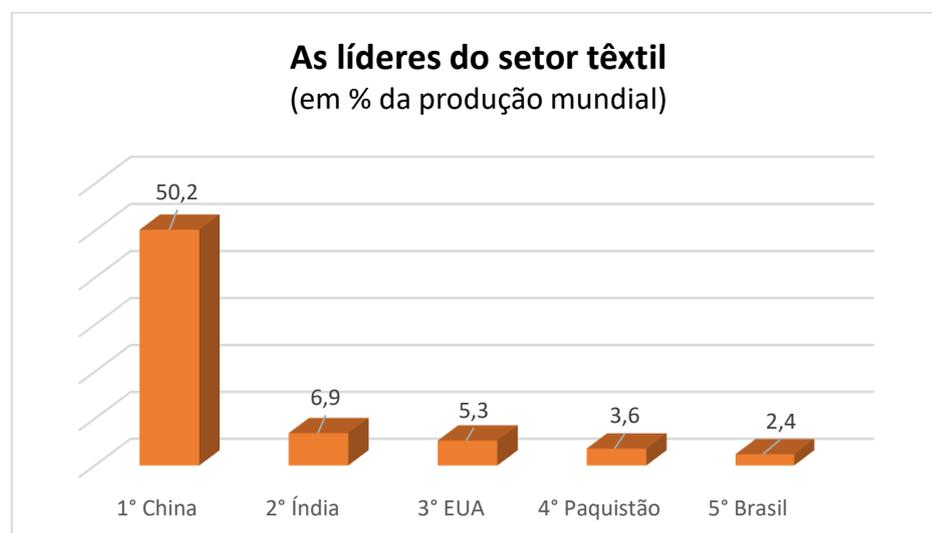
3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Indústria Têxtil

A indústria têxtil é uma das mais importantes indústrias presente no mundo e que não possui uma exigência de mão de obra especializada, exercendo dessa maneira, um papel importante na economia global. A indústria têxtil mundial vem sofrendo mudanças constantes, devido a acelerada globalização e a grande concorrência existente entre os países, por isso é considerada um dos segmentos industriais mais dinâmicos (MENEGON; POLI; MAZZIONI, 2018). Atualmente, mais de 150 países compõem a indústria têxtil global, fornecendo produtos têxteis em todo o mundo e o tamanho dessa indústria aumentará entre 20 a 30% até 2025 (YOUSEF et al., 2019).

A produção mundial de têxteis é liderada pela China, que detém 50,2% da produção mundial, sendo também o país com o maior mercado consumidor do mundo (MENEGON; POLI; MAZZIONI, 2018). A China também é o maior e mais importante exportador de uma grande variedade de têxteis, seguido de Índia, EUA, Paquistão e Brasil (Figura 1).

Figura 1: Produção mundial de têxteis



Fonte: Adaptado da Organização Mundial do Comércio (2019).

Por ocupar a 5ª colocação na produção têxtil mundial, o setor têxtil constitui um fator de extrema importância para a economia brasileira, pois emprega cerca de 1,7 milhões de pessoas de forma direta e diversos empregos de forma indireta, resultando em um total de 4 milhões, o que representa 16,7% dos empregos do país (ABIT, 2018). Dessa maneira, a indústria têxtil representa um importante segmento para o PIB nacional, bem como para toda a economia mundial.

O setor têxtil no Brasil, representa cerca de 5,7% do faturamento da indústria de transformação, produz em média 8,9 bilhões de peças por ano e possui a maior cadeia têxtil completa do ocidente. No caso da geração de empregos no setor têxtil, no período de janeiro a abril de 2019, foi de 16.887 e na indústria de transformação 87.127 (ABIT, 2019).

Escolhendo a região nordeste do Brasil, especificamente no estado de Pernambuco, a indústria têxtil vem contribuindo para o crescimento industrial do estado e é onde está localizado o segundo maior produtor nacional, conhecido como Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco (CECI, 2018) e o oitavo principal produtor do Brasil, respondendo por 2,9% do total do faturamento nacional. Também é responsável por 47,5 mil empregos diretos e 1.359 empresas do setor têxtil e de confecção (ABIT, 2018).

O Polo Têxtil do Agreste Pernambucano inclui, prioritariamente, três municípios, os quais lideram este polo e são responsáveis por 77% da produção, sendo eles: Santa Cruz do Capibaribe (38,1%), Caruaru (24,1%) e Toritama (14,8%) (PESSÔA, 2019).

Os números do Polo Têxtil do Agreste Pernambucano são impressionantes: cerca de 800 milhões de peças de vestuário são produzidas todos os anos tanto para o comércio nacional quanto para o internacional. É uma produção tão grande que a região se tornou referência no Nordeste (CECI, 2018).

Apesar do impacto positivo que este setor causa na economia brasileira, aspectos negativos podem ser observados, estando em destaque os impactos ambientais negativos. O mercado mundial já faz exigências quanto às responsabilidades das empresas, sejam elas privadas ou estatais, para com a sociedade e meio ambiente (SAXENA et al., 2017).

3.2. Lavanderias Industriais Têxteis

A indústria têxtil apresenta diversos processos produtivos, podendo apresentar todas as etapas do processo ou apenas uma. Dentre os processos de beneficiamento úmido

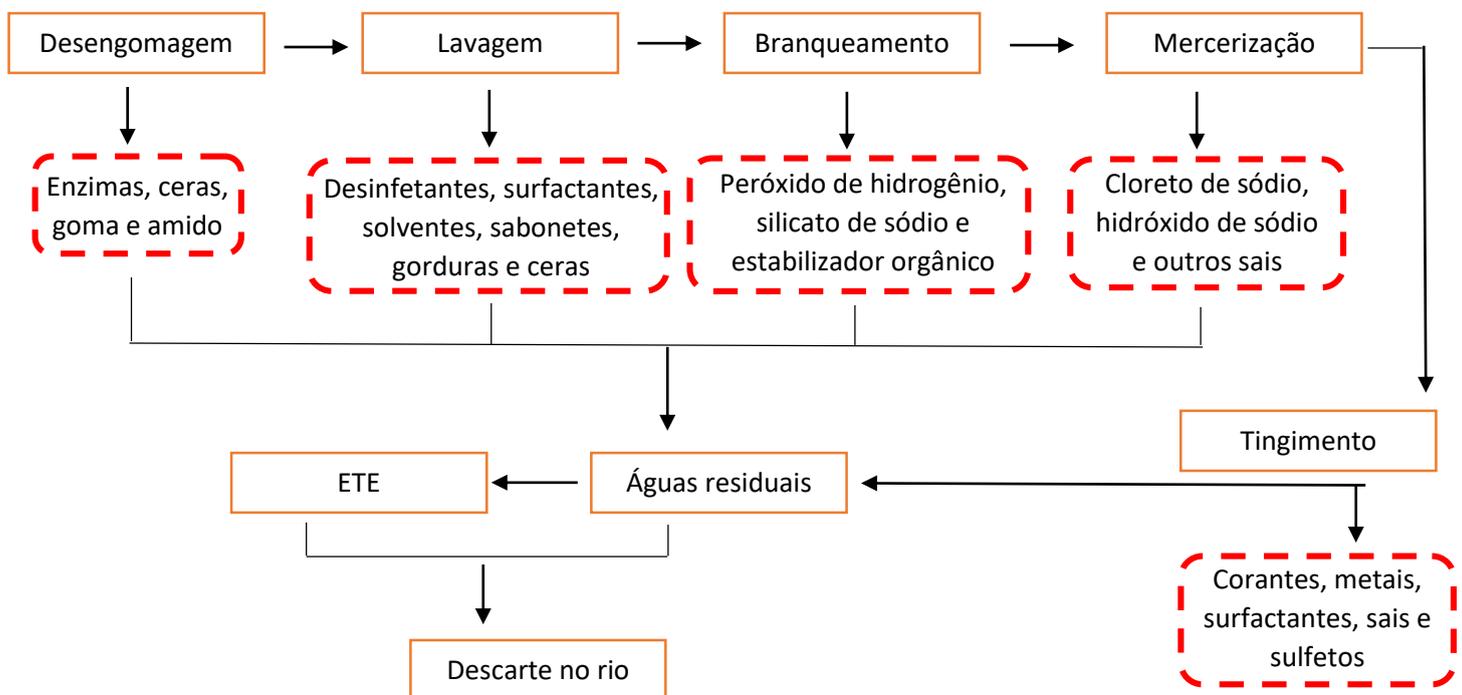
destacam-se as etapas de desengomagem, lavagem, branqueamento, mercerização, tingimento e outros (RAMOS et al., 2020).

No geral, as empresas de médio e grande porte é que realizam todas as etapas do processo produtivo. Por conta disso, empresas menores surgem, apresentando poucas etapas e são chamadas de tinturarias e lavanderias. Essas lavanderias são conhecidas como indústrias de beneficiamento têxtil, na qual os tecidos são tratados para melhorar sua aparência e são implementadas características específicas na qualidade do produto (SIDDIQUE et al., 2017).

3.2.1. Insumos do Processo Produtivo

O afluente gerado pelos processos das indústrias têxteis é composto por diversos produtos quimicamente complexos, incluindo hidróxido de sódio, surfactantes, peróxido de hidrogênio, metais pesados, corantes, solventes, formaldeído, resinas e ceras, entre outros compostos (RAMOS et al., 2020). Na figura 2 é possível observar as principais substâncias poluidoras de cada etapa do processo de produção.

Figura 2: Esquema dos processos de produção e os principais poluentes de cada etapa



Fonte: Autora (2021).

Como pode ser observado, a indústria têxtil apresenta uma grande variedade de combinações de processos produtivos, com uma grande utilização de diversos produtos químicos (AYED et al., 2020), uma diversidade de equipamentos e matérias-primas. Dessa maneira, as características do afluente gerado apresentam uma grande variabilidade e muda de lavanderia para lavanderia.

3.2.2. Insumos da Estação de Tratamento de Efluentes

O tratamento adequado dos afluentes da indústria têxtil é necessário antes de seu descarte seguro em corpos d'água. As indústrias devem estabelecer suas estações independentes de tratamento de efluentes (ETE) e permanecer efetivamente operacionais, a fim de salvaguardar a qualidade da água para as gerações futuras (BHATIA et al., 2018).

O método de tratamento pode ser classificado como químico, físico ou biológico, sendo escolhido com base nas características do afluente. Porém, para o setor têxtil a escolha de um único tratamento, não é o suficiente para atingir todos os requisitos legais (CONAMA 357/2005), tendo em vista que este tipo de afluente, possui uma alta variação de característica devido ao seu processo produtivo que modifica de acordo com a moda do vestuário e estações do ano (QUEIROGA; MELO; LAMARDO, 2019).

Existem vários métodos empregados no tratamento de águas residuais têxteis e para garantir o tratamento completo, vários métodos são empregados em sequência (BIDU et al., 2021). Na etapa preliminar, os afluentes provenientes das lavagens do jeans são direcionados à caixa de passagem, que funciona como um decantador. No entanto, antes de entrar na caixa de passagem, o afluente é passado por uma peneira que impede o arraste de sólidos grosseiros.

No tratamento primário, o afluente é direcionado para um decantador, onde há adição de hidróxido de Sódio (NaOH). Este composto tem como função auxiliar na coagulação, aumentando a velocidade de sedimentação, e elevando a resistência do floco ao cisalhamento e minimizando a queda do pH. Na sequência é necessário a adição do Policloreto de Alumínio ($Al_2(OH)_3Cl_3$) ou Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), compostos coagulantes que atuam nas cargas superficiais das moléculas desestabilizando-as, facilitando desta maneira a formação de flocos quando adicionado um polímero. Para

minimizar a incrustação, a coagulação foi relatada como um pré-tratamento eficiente e com boa relação custo-benefício (MOGA et al., 2018).

Por fim, a adição do polímero é utilizada para a formação de flocos e a separação de sólido e líquido. Nos decantadores, por apresentar maior densidade que a parte líquida, os sólidos sedimentam-se no fundo do tanque formando o lodo, onde são encaminhados para leitos de secagem. A fração líquida dos decantadores seguem para os filtros de fluxo ascendente, em meio filtrante contendo carvão ativado. Os filtros são utilizados para que ocorra a remoção de partículas responsáveis pela cor e turbidez (BIDU et al., 2021).

O tratamento secundário consiste no processo de inativação de microrganismos presentes nas águas residuárias tratadas, pois muitos apresentam características patogênicas. Desta forma, os afluentes líquidos gerados passam por processos de tratamentos físicos, químicos e biológicos, para o produto final apresentar características determinadas pelos órgãos ambientais, para que sejam lançados nos corpos d'água. Como será visto a seguir, o tratamento do afluente líquido produz o lodo têxtil (AYED et al., 2020).

Os métodos de tratamento de águas residuais têxteis também utilizam produtos químicos e devem ser controlados e analisados para que sejam utilizadas a quantidade necessária para que o afluente seja tratado e inserido novamente no fluxo produtivo ou lançado nos corpos hídricos (MOGA et al., 2018).

3.3. Corante Têxtil

Na era pré-industrial, devido ao pouco conhecimento e tecnologia, as roupas eram tingidas com corantes de origem vegetal. O tingimento com corantes de origem animal, como kermes e púrpura tiriana, eram limitados para casos raros. Atualmente, apesar do crescimento no uso dos corantes naturais, os sintéticos são os mais utilizados para o tingimento dos tecidos. Independentemente do tipo de corante utilizado, o objetivo do tingimento é a produção econômica de tecido colorido em uma tonalidade desejada e com estabilidade de cor satisfatórias (KHATRI et al., 2015 apud KHATTAB; ABDELRAHMAN; REHAN, 2019).

Os corantes são basicamente produtos químicos que se ligam ao substrato e lhe concedem cor. As indústrias que utilizam uma vasta quantidade de corantes são as têxteis,

papel, tintas, cosméticos, couro e de alimentos (POROBIC et al., 2020). Os corantes podem ser classificados com base em sua aplicação e estrutura química, geralmente contém alta biotoxidade, estrutura complexa e efeitos teratogênicos, carcinogênicos ou mutagênicos.

Existem diversas abordagens para classificar os corantes, uma das mais utilizadas e adequadas é pela natureza de sua estrutura molecular, que possui vários benefícios. No primeiro momento, essa abordagem determina os corantes de acordo com uma categoria de materiais que possui propriedades distintas. Os corantes azo, por exemplo, possuem baixo custo, grande força de cor e altas propriedades de firmeza da cor, enquanto os corantes de antraquinona têm altos custos e são caracterizados pela fraca força de cor e propriedades de baixa firmeza da tinta (KHATTAB; ABDELRAHMAN; REHAN, 2019).

Segundo Ferreira (2019), além de conhecer as propriedades dos corantes, na aplicação da coloração devem ser levados em consideração algumas características, entre elas: a igualização da cor a ser obtida com a uniformidade do tecido, a afinidade entre o corante e a fibra a ser colorida, a resistência do produto a ser tingido aos agentes destingidores e a economia da concentração de corante necessária para a obtenção da cor desejada no tecido, ou seja, o custo benefício.

Apesar dos benefícios econômicos gerados pela produção de corantes e todo o mercado produtivo que os utilizam, os mesmos possuem algumas propriedades que se não forem controladas e monitoradas, trazem malefícios a saúde dos seres vivos que entram em contato com esses compostos. Para se ter uma ideia, mais de 0,7 Mt desses corantes são produzidos anualmente em todo o mundo, onde entre dez a quinze por cento são eliminados no meio ambiente, o que constitui um dos maiores problemas ambientais da atualidade devido à alta concentração de cor e matéria dissolvida nas águas residuais (KOROGLU et al., 2019).

Para as etapas de processamento dos corantes, mais de 8.000 produtos químicos sintéticos estão associados (BHATIA et al., 2017) e cerca de 40% dos corantes têxteis contêm cloro organicamente ligado, que é um conhecido agente cancerígeno. Os produtos químicos presentes nesses corantes evaporam no ar e são absorvidos pela pele, contribuindo para reações alérgicas e interrupção do funcionamento normal das células em crianças, antes mesmo do seu nascimento. Além dos seres humanos, essa evaporação pode causar uma alteração na fisiologia e nos mecanismos bioquímicos dos animais,

resultando no comprometimento de funções importantes como respiração, reprodução e até a mortalidade (Quadro 1).

Quadro 1: Corantes e seus efeitos nos organismos

	Nome dos Corantes	Efeitos sobre	Efeitos
1	Azul Reativo	Peixe-zebra (<i>Danio rerio</i>)	Inflamação da bexiga Cauda curva Embriões inibidos
	Preto Direto		
	Laranja Reativo		
2	Vermelho Básico	Pulga de água (<i>Daphnia magna</i>)	Inibição da reprodução
3	Laranja Ácido	Anabás (<i>Anabas testudineus</i>)	Efeito tóxico no fígado, rins e músculos
4	Verde Malaquita	Bagre -australiano (<i>Heteropneustes fossilis</i>)	Mudança no nível de glicose no fígado e músculo
5	Ácido Preto 10B	Células eucarióticas	Câncer e danos genéticos

Fonte: Adaptado de Varjani et al., (2020).

Os afluentes poluídos com corantes são geralmente considerados altamente tóxicos para a biota aquática e conhecidos por afetar significativamente a atividade fotossintética, resultando na perturbação do equilíbrio ecológico. O afluente da maioria das operações de tingimento de têxteis geralmente possuem uma cor marrom-avermelhada escura, que é esteticamente desagradável quando despejado em águas receptoras (AYED et al., 2020). Devido a relativa baixa de fixação dos corantes nos tecidos, mais afluentes com grande quantidade de cor são produzidos e essa coloração não é facilmente removida em sistemas de tratamento.

Embora existam diversos métodos de remoção de cor, nenhum deles funciona para todos os casos. Além das problemáticas já citadas, a cor nos afluentes têxteis impede a penetração da luz na água, causando e acelerando o processo de eutrofização, consumindo oxigênio dissolvido e dificultando a reoxigenação da água. Dessa forma, águas residuais têxteis contendo corantes devem ser tratadas antes de sua descarga no meio ambiente (ROY et al., 2018).

3.4. Efluente Têxtil

A água é um dos recursos naturais em maior abundância no planeta Terra, apesar disso, apenas uma pequena parcela desta água está disponível de maneira facilitada para consumo humano e industrial, principalmente devido a contaminação de grandes quantidades de água potável, tratamento de alto custo, aumento da população e a exacerbada variedade de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes em diferentes processos de produção (SANTOS et al., 2018).

A indústria têxtil dentro dos seus processos utiliza uma grande quantidade de água pura, principalmente nas etapas de tingimento e acabamento. Essas águas residuais aumentam a medida que o crescimento populacional ocorre e são um dos efluentes mais poluídos de todos os setores industriais (MOR et al., 2018) devido à composição química complexa e aos danos ambientais visivelmente perceptíveis. Corantes, surfactantes, sais, compostos clorados, tóxicos, recalcitrantes orgânicos e metais pesados são os principais poluentes presentes nesse efluente.

Os efluentes das indústrias têxteis tratados de maneira ineficiente ou sem qualquer tratamento são lançados nos rios e se tornam os principais contaminantes que causam poluição ambiental e criam sérios problemas de subsistência das pessoas ao poluir a água, sedimentos e solos adjacentes, pois alteram suas propriedades físico químicas, o que afeta a saúde humana e o meio ambiente (AHSAN et al., 2019). Os impactos negativos na qualidade da água estão baseados na mudança de cor, aumento da turbidez, eutrofização e presença de compostos tóxicos persistentes.

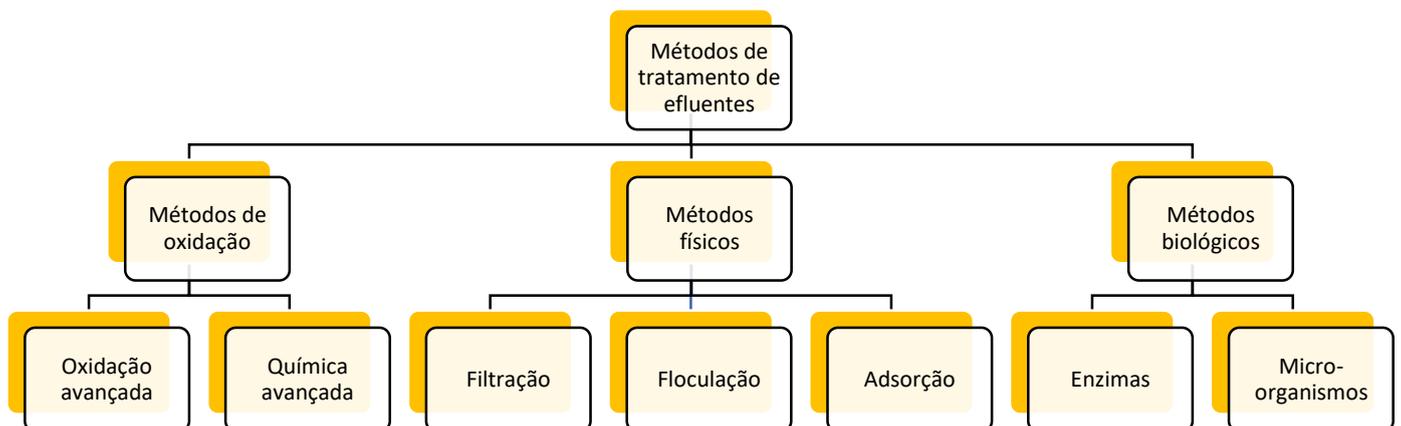
Em relação ao sedimento e solo, são considerados como sumidouros finais de poluentes industriais (KHAN et al., 2019) e essa contaminação proveniente de poluentes tóxicos, tem um efeito negativo nas plantas que crescem em áreas afetadas por uma grande quantidade de metais pesados. Nesse sentido, o tratamento adequado e o reaproveitamento de águas residuais têm se tornado atitudes importantes para alcançar a sustentabilidade nessas indústrias.

Dessa forma, vários materiais e tecnologias estão sendo desenvolvidos para a remoção de diversos poluentes de meios aquosos. Nanotubos de carbono, argilas e diferentes formas de carvão ativado são exemplos de tecnologias estudadas com o objetivo de auxiliar na descontaminação da água (HAJI e SHOUSHARI, 2019). Além disso, existe

diversos processos de tratamento de efluentes que incluem: pré-tratamento mecânico, armazenamento e homogeneização, neutralização de pH, tratamento biológico entre outros.

Os métodos físico-químicos são aplicados no tratamento dos efluentes têxteis e alcançam uma alta eficiência na remoção dos corantes e numerosos processos são propostos para esse tratamento, tais como a precipitação, floculação, coagulação, adsorção e oxidação úmida (ROY et al., 2018). Cada um desses métodos tem diferentes remoções de cor, custos de capital e velocidade operacional. Dentre outras alternativas viáveis e de baixo custo, que estão disponíveis para tratamento e descoloração de efluentes, os sistemas biológicos são reconhecidos, por sua capacidade de reduzir a demanda bioquímica e química de oxigênio pela biodegradação aeróbica convencional (Figura 3).

Figura 3: Métodos de tratamento de efluentes têxteis atualmente disponíveis



Fonte: Adaptado de Tayyab et al., (2019).

É importante lembrar que é necessário verificar se a estação de tratamento de efluentes está sendo eficiente, para isso, é imprescindível realizar o monitoramento das amostras da água residual desde a entrada da estação e se possível, após cada etapa de tratamento empregado (físico, químico e biológico), bem como da saída final da estação (BHATIA et al., 2018).

3.5. Lodo Têxtil

O lodo têxtil é um subproduto gerado como resultado do processo de coagulação e floculação devido a adição de alumínio ou sais ferrosos nas estações de tratamento de efluentes (GADEKAR e AHAMMED, 2020). Esse lodo é corriqueiramente acumulado em grandes quantidades nas estações de tratamento de efluentes industriais em todo o mundo, como por exemplo pode-se citar a União Europeia em 2010, que produziu cerca de 9 milhões de toneladas de matéria seca de lodo (OWUSU-AGYEMAN et al., 2020).

A previsão é que a União Europeia tenha atingido 12 milhões de toneladas de sólidos secos anualmente no ano de 2020 (TEOH e LI, 2020) e aproximadamente 40 milhões de toneladas de lodo industrial na China também em 2020 (LIU et al., 2020). Foi constatado que a descarga anual de efluentes de tingimento de têxteis na China já atingiu a marca de 2 bilhões de toneladas, gerando cerca de 20 milhões de toneladas de lodo úmido de métodos de tratamento tradicionais, como floculação e digestão biológica (RAN et al., 2019, ZOU et al., 2019, LIU et al., 2020).

Para combater a geração da grande quantidade de lodo têxtil é aconselhável selecionar um coagulante adequado e minimizar a dose utilizada no tratamento de efluentes (KOS, 2017), pois a quantidade do lodo formado é menor, quando a dose do coagulante é pouca. Portanto, é necessário escolher o tipo e a dosagem ideal do coagulante, levando sempre em consideração a eficácia do tratamento e a quantidade do lodo gerado.

Além do desafio de tratar uma enorme quantidade, juntamente com a alta umidade aliada a ineficiência da grande maioria das estações de tratamento, têm tornado o transporte e o descarte do lodo ainda mais difícil (YUAN et al., 2020). A incineração e o aterro sanitário são as formas mais comuns, hoje utilizadas, para o descarte do lodo têxtil, no entanto pesquisas vem sendo desenvolvidas para a sua utilização na agricultura, devido as suas características de fertilização.

A utilização do lodo têxtil na agricultura ainda é um grande desafio, porque pode trazer substâncias indesejáveis, como os metais pesados, para o solo e os corpos hídricos (SANTORO et al., 2017) e para piorar, os metais pesados presentes no lodo podem migrar com a ajuda de vários meios e se acumular em organismos através da cadeia alimentar e eventualmente acarretar em risco para a saúde humana (ZOU et al., 2019).

Presente na composição dos lodos têxteis também se encontram os microplásticos, que trazem diversos impactos negativos ao meio ambiente. A ingestão dos microplásticos na cadeia trófica incluem efeitos como o aumento da mortalidade das espécies, desregulação endócrina, entre outros (NELMS et al., 2018). Somado a isso, esses poluentes foram amplamente identificados em produtos para consumo humano como frutos do mar, água da torneira e sal de cozinha (SCHYMANSKI et al., 2018).

Independentemente de qual escolha para a proposição do seu tratamento, disposição ou reuso adequado do lodo, como a otimização das operações de condicionamento, desaguamento, tratamento de incineração, aterro sanitário, matéria prima para a fabricação de cimento ou fertilizante para aumentar a produção agrícola, é necessário e importante obter informações sobre o lodo formado e sua composição (AFANGA et al., 2020). Apesar da existência de diversas formas de descarte do lodo têxtil, a principal alternativa é sempre diminuir a sua geração, por isso a desidratação do lodo é considerada um dos principais processos unitários para o seu tratamento, pois minimiza os volumes de lodo na disposição final.

3.6. Metais Pesados

As águas residuais têxteis contêm uma ampla variedade de poluentes, incluindo metais pesados que estão presentes na forma livre ou adsorvidos nos sólidos suspensos e inorgânicos compostos (KUMAR e SARAVANAN, 2017). Parte desses elementos metálicos são transferidos dos efluentes têxteis para as lamas, o que exige que seja levado em conta este inconveniente no seu tratamento subsequente.

Apesar das técnicas analíticas modernas detectarem uma pequena quantidade de produtos químicos em águas doces e residuais, é difícil prever a toxicidade dessas misturas compostas. Mesmo as concentrações mais baixas de metais pesados representam um grave perigo para o meio ambiente devido aos seus efeitos tóxicos aditivos ou sinérgicos (AKHTAR et al., 2018).

Os metais pesados causam danos ao DNA e mutações, além de possuir efeitos deletérios na qualidade de vida por seus efeitos nocivos na água potável e de irrigação. Os lixiviados dos afluentes da indústria têxtil podem induzir genotoxicidade em animais

expostos, pois os metais presentes se acumulam nos organismos vivos, geralmente pela entrada do ar, pela água e pelos alimentos (AKHTAR et al., 2018).

O acúmulo e a toxicidade dos poluentes normalmente ocorrem por meio da reação com as proteínas estruturais e funcionais que culminam em dano celular e morte. A natureza, gravidade e consequências da toxicidade dependem da quantidade, da rota de exposição e da idade dos organismos expostos (AKHTAR et al., 2018).

Diversos metais pesados, como Cr, Hg, Pb e As, mostraram potencial de produção de lesão histopatológica na exposição a longo prazo. O chumbo causa danos aos hepatócitos por meio do estresse oxidativo e leva à congestão dos vasos sanguíneos hepáticos e renais. O Hg também altera o estado das enzimas antioxidantes e causa peroxidação lipídica no rim, resultando em nefrotoxicidade em animais expostos (APAYDIN et al. 2016).

A presença de metais pesados nos afluentes têxteis está ligado ao uso de corantes naturais e sintéticos, mordentes, desinfetantes, surfactantes, solventes orgânicos, sulfetos, ácidos, álcalis, compostos clorados, resinas, ceras e enzimas presente em vários processos têxteis realizados nas indústrias. Dessa maneira, o tratamento de águas residuais têxteis deve considerar a presença de todas essas propriedades antes de despejar as águas residuais nos corpos de água receptoras (BIDU et al., 2021).

No entanto esse tratamento não é fácil, pois o crescimento bacteriano e as atividades enzimáticas da estação de tratamento de efluentes são inibidos por metais pesados encontrados nas águas residuais. A capacidade de tolerância de metais pesados por microrganismos varia com a cepa bacteriana, além do que os metais também complicam o processo de remediação e os aspectos de gestão de resíduos dos processos (DHANDOLE et al., 2020).

Uma análise adequada é necessária para avaliar o nível de poluição, a fim de proteger o meio ambiente e os recursos naturais. O uso integrado de análises químicas e técnicas de biomonitoramento pode ajudar imensamente na compreensão da natureza dos tóxicos e seu potencial tóxico e um processo eficaz na remoção de metais pesados nos efluentes industriais é o processo de eletrocoagulação, que vem sendo bastante utilizado nas estações de tratamento pelo mundo (BIDU et al., 2021).

3.7. Legislação

Todas as atividades industriais precisam ser regidas pela implementação de legislação específica para o controle e monitoramento de determinada atividade. Como por exemplo, quando o assunto é sobre tratamento de efluentes, existe normatizações nas esferas municipais, estaduais e nacionais (MARQUES, 2017) e isso acontece para a maioria das atividades presentes na indústria.

Não se pode falar em meio ambiente, sem citar o Art. 225 da Constituição Federal – CF, que estabelece que todos têm o direito de ter um meio ambiente ecologicamente equilibrado, tendo em vista que se trata de um bem de uso comum de toda a nação e é essencial a manutenção sadia da qualidade de vida (BRASIL, 1988). Independentemente de pessoas físicas ou jurídicas, aqueles que cometerem ações lesivas ao meio ambiente, terão que arcar com sanções penais e administrativas.

Ainda na CF, o Art. 170 traz em um dos seus princípios a necessidade de defesa do meio ambiente e para isso, deve-se apresentar tratamento diferenciado considerando os impactos ambientais negativos na prestação de serviços e na confecção de produtos (BRASIL, 1988). Quando se refere aos recursos hídricos, no Art. 22, inciso IV, da Constituição Federal de 1988, estabelece que compete privativamente à União legislar sobre a água. Assim foi criada a Lei nº 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criando através desta lei o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que define critérios de outorga e direitos do uso da água.

Com relação as políticas públicas, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) – Lei nº 6.938/1981, determina os instrumentos de defesa do meio ambiente, estabelecendo critérios para a manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas a proteção ambiental e racionalização dos recursos ambientais (Brasil, 1981). A referida lei determina como médio o potencial e grau de utilização dos recursos naturais pela indústria têxtil, no entanto os impactos ambientais negativos que os setores produtivos podem ocasionar nos corpos hídricos, não são observados (BRASIL, 1981).

Já a Lei nº 9.605/1998 trata sobre as sanções penais e administrativas relacionadas aos crimes ambientais, com detenção de seis meses a um ano além de multa, nos casos de lançamento de efluentes ou carreamento de materiais, que provoquem a morte da fauna

aquática presente em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras (BRASIL, 1998).

De maneira mais ampla, no que diz respeito ao controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais, tem-se o decreto-lei nº 1.413/1975 onde relata sobre a obrigatoriedade que as indústrias possuem de implementar medidas que visem a prevenção e correção dos prejuízos que possam ser ocasionados pela poluição e contaminação do meio ambiente (BRASIL, 1975).

Com a criação do CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente e implementação da Resolução nº 20/1986, foi estabelecida a classificação das águas segundo seus usos mais importantes, bem como os níveis de qualidade que deveriam possuir para atender as necessidades das comunidades. Atualmente, a definição de qualidade da água está ligada ao tipo de uso ao qual o recurso será utilizado, sendo a resolução nº 20 revogada pelas condições padrões de lançamento de efluentes dispostas na resolução CONAMA 357/2005 que traz a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais.

Em relação aos corantes presentes no efluente têxtil, ainda não há uma legislação específica que estabeleça padrões de cor, no entanto, a resolução CONAMA 357/2005 classifica como classes 2 e 3, para corpos hídricos de água doce, o valor tolerável de cor real ou verdadeira de até 75 mg Pt/L (CONAMA, 2005). No quadro 2, são apresentados 03 (três) estados brasileiros que buscam controlar o parâmetro cor.

Quadro 2: Padrões de qualidade da cor em alguns estados brasileiros

Estado	Órgão Ambiental	Padrões de Cor
SP	CETESB	Corantes artificiais são proibidos se não puderem ser removidos por processos de coagulação, sedimentação ou filtração convencionais.
PE	CPRH	75 mg Pt/L;
RN	IDEMA	75 mg Pt/L;

Fonte: Autor (2021).

A referida resolução ainda determina, que na ausência do estabelecimento dos padrões de qualidade para um corpo de água, ele deve ser enquadrado como classe 2

(CONAMA, 2005). De acordo com a resolução CONAMA nº 430/2011, o efluente de qualquer fonte poluidora apenas poderá ser lançado, direta ou indiretamente, nos rios, lagos e outros, desde que obedecem às condições e padrões determinados neste artigo, resguardadas outras exigências pertinentes:

“§Art. 3º - Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedecem às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis. Art. 5º - Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento. § 1º As metas obrigatórias para corpos receptores serão estabelecidas por parâmetros específicos. § 2º Para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias e na ausência de metas intermediárias progressivas, os padrões de qualidade a serem obedecidos no corpo receptor são os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado” (CONAMA, 2011, p. 02).

Em relação ao estado de Pernambuco, a gestão dos recursos hídricos baseia-se na Lei Estadual nº 12.984/2005 (PERNAMBUCO, 2005), que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Dessa maneira, a Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, com o intuito de preservar os corpos hídricos presentes no estado, solicitam que as empresas geradoras de efluentes com potencial poluidor, sigam as diretrizes estabelecidas pela legislação federal, bem como as Normas Técnicas referentes a lançamento de efluentes nos corpos hídricos estaduais (CPRH N.2001, CPRH N.2003, CPRH N.2004, CPRH N.2005, CPRH N.2006 e CPRH N.2007).

Seguindo o direcionamento da legislação federal, a lei estadual nº 14.249/2010 trata sobre o licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente. No Art. 40º, a lei considera dentre as infrações administrativas ambientais a poluição ou degradação ambiental (PERNAMBUCO, 2010).

Em relação a classificação dos resíduos no Brasil, a NBR 10.004/2004 normatiza e caracteriza todos os tipos de resíduos como perigosos ou não perigosos e a legislação que trata de questões relacionadas ao controle de resíduos e está intrinsecamente relacionada

com os impactos negativos do lodo têxtil no meio ambiente é a Lei 12.305/10 - PNRS. De acordo com a ABNT NBR 10.004:2004, resíduos sólidos são aqueles que:

“resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

Apesar dos processos das ETEs reduzirem ou evitarem a contaminação das águas, o descarte precário do lodo pode ocasionar sérios danos ao solo, por exemplo. É sabido que o material, devido aos processos que regem sua formação, possui composição química variada, a depender da forma de processamento das peças de roupa e do tratamento do efluente (MOURA et al., 2021). Os metais pesados presentes nos lodos constituem seu principal aspecto poluidor, contudo, seu controle pode ser feito mediante a adoção de uma política voltada para o gerenciamento das descargas industriais assegurando-se assim seu enquadramento dentro dos limites seguros para aplicação na agricultura, construção civil e outros.

Nem todo o lodo produzido poderá ser aplicado na agricultura, por exemplo, aqueles originados na ETE localizadas em áreas de maior concentração industrial, e, portanto, com concentrações de metais pesados acima dos limites serão destinados a aterro sanitário (IWAKI, 2018). Dessa forma, é importante ter o controle da quantidade e qualidade dos produtos utilizados no processo das lavanderias e em suas estações de tratamento, para que sejam gerados uma quantidade menor de lodo e com uma baixa quantidade de metais pesados.

Com relação ao município de Caruaru, área de estudo da presente pesquisa, a lei municipal nº 5.058/2010 dispõe sobre o licenciamento ambiental e as infrações municipais, estabelecendo que o licenciamento ambiental e a fiscalização ambiental devem ser de competência da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Políticas Ambientais Municipais (CARUARU, 2010).

Em 2012, as lavanderias de beneficiamento de jeans firmaram o Termo de Ajustamento de Conduta (TACs) perante o Ministério Público de Pernambuco (MPPE), onde se comprometem a adotar medidas necessárias para cessar as degradações ambientais. De maneira mais específica, as empresas se comprometem a não lançar efluentes líquidos industriais sem o devido tratamento em corpos hídricos, no solo ou em qualquer meio natural, além de manter o sistema de tratamento físico químico dos resíduos em correta operação (MPPE, 2015).

Para comprovar que as empresas estão cumprindo com o acordo, as mesmas devem apresentar a CPRH anualmente, documentos mês a mês que incluam os relatórios de análises de automonitoramento de efluentes líquidos industriais, notas fiscais de aquisição dos produtos químicos utilizados no sistema de tratamento de efluentes ao longo de todo o período, cópia das notas fiscais de aquisição de lenha ou derivados de madeira, entre outros documentos (MPPE, 2015).

Para que haja uma fiscalização dessas ações, foi implementado um grupo coordenado pelo Ministério Público juntamente com a CPRH, Vigilância Sanitária e Prefeitura de Caruaru. Em caso de não cumprimento da TAC, estão previstas multas diárias no valor de mil reais para os proprietários das lavanderias e de dois mil reais para o município de Caruaru, que serão revertidas ao Fundo Municipal do Meio Ambiente (PORTAL G1, 2015).

3.8. Ferramenta de Gestão Ambiental – Produção mais Limpa (P+L)

A indústria têxtil do Brasil é uma das maiores indústrias têxteis no mercado internacional, visto que o país possui a maior cadeia têxtil completa do ocidente, que vai desde a produção das fibras até as etapas de confecções e varejo. No entanto, essa extensa indústria em desenvolvimento tem despertado a preocupação quanto à sustentabilidade dos recursos naturais, tais como a escassez de água, energia e contribuição nas mudanças climáticas. Consequentemente, esses fatores afetarão pessoas, indústrias, agricultura, ecossistema e a economia em geral (HUSSIEN et al., 2017).

As indústrias têxteis têm uma contribuição fundamental para o desenvolvimento econômico sustentável. Atualmente, mais de 150 países compõem a indústria têxtil global,

fornecendo produtos têxteis em todo o mundo (TAYYAB et al., 2019). Com o objetivo de expandir e continuar a melhoria na indústria de manufatura, a atenção deve ser dada à sustentabilidade dos recursos que a indústria consome.

Assim, as mesmas estão adotando novas estratégias e conceitos para superar a deficiência de recursos necessários para gerenciar suas operações diárias, ou seja, estão se concentrando em alcançar a sustentabilidade em cada processo de produção, desde o consumo de recursos até o reaproveitamento de resíduos. Portanto, a importância de incorporar sistemas de energia sustentável, água e conservação ambiental é necessária para a sustentabilidade industrial (LATIF et al., 2017).

Com o objetivo de expandir e continuar a melhoria na indústria de manufatura, a atenção deve ser dada à sustentabilidade dos recursos que a indústria consome. Assim, as mesmas estão adotando novas estratégias e conceitos para superar a deficiência de recursos necessários para gerenciar suas operações diárias, ou seja, estão se concentrando em alcançar a sustentabilidade em cada processo de produção, desde o consumo de recursos até o reaproveitamento de resíduos. Portanto, a importância de incorporar sistemas de energia sustentável, água e conservação ambiental é necessário para a sustentabilidade industrial (LATIF et al., 2017).

Entre os diferentes problemas ambientais, profissionais de indústrias têxteis têm frequentemente mencionado sobre o alto consumo de materiais, geração de resíduos e problemas no descarte de efluentes. A consideração desses indicadores, bem como as suas possíveis soluções, leva ao alcance da sustentabilidade ambiental (FUJIMORI et al., 2017).

A reciclagem da água é uma técnica eficaz para reduzir a pegada hídrica e economizar custos. Além de existir também uma aceitação social do tratamento de águas residuais, uma vez que ajuda a beneficiar o ambiente a longo prazo. O tratamento e a reutilização de águas residuais contribuem com a desaceleração do esgotamento dos recursos hídricos no mundo. As águas residuais são geradas em várias fases e em todos os segmentos da indústria. A água processada ou efluente industrial é em seguida, tratada na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), usando várias operações unitárias. A principal finalidade da ETE é eliminar os poluentes do efluente ou recuperar o efluente dentro dos limites descartáveis de acordo com os padrões estabelecidos (HERNÁNDEZ-PADILLA et al., 2017).

O tratamento sustentável de efluentes é essencial porque pode reduzir a carga de poluentes da água (OPHER et al., 2018). No entanto, várias tecnologias de tratamento consomem produtos químicos prejudiciais e precisam de energia substancial para bombeamento, agitação, aeração e outras unidades de operações, juntamente com a geração de lodo e gases. Além de gerar efluente descartável, a ETE agrava a carga ambiental dependendo do tratamento, tecnologia e fluxo de efluentes. Portanto, uma avaliação deve ser feita para analisar cada possível impacto ambiental negativo das tecnologias de tratamento de água.

Numerosas tecnologias foram adaptadas até agora para tratar efluentes têxteis, incluindo digestão aeróbia e anaeróbia, ultrafiltração, osmose reversa, processo de oxidação, coagulação e floculação, etc. No entanto, a sustentabilidade de tais métodos de tratamento não foram considerados completamente, o que pode ofuscar os benefícios do tratamento de efluentes, resultando em diferentes impactos ambientais negativos (ZEPON e AZAPAGIC, 2018).

Diferentes ferramentas e modelos de apoio à decisão de gestão verde são discutidos por diversos pesquisadores (PAN e DEAL, 2019; PAN et al., 2019). Uma das abordagens dinâmicas é a prevenção da poluição, geralmente chamada de produção mais limpa, que permite a integração do consumo de recursos naturais e práticas de produção. A abordagem de produção mais limpa enfatiza a otimização do processo de produção com considerações ambientais e também é denominada como uma estratégia proativa de proteção ambiental.

É necessário reduzir efeitos prejudiciais dos processos de produção no meio ambiente causados por efluentes têxteis, incluindo resíduos de materiais de branqueamento, corantes e produtos químicos de impressão. Assim, junto com a adoção da cultura enxuta, as indústrias têxteis devem seguir processos de manufatura mais limpos. Isso pode ser realizado integrando estratégias econômicas e ambientais para melhoria de processos, redução de custos e diminuição do impacto ambiental negativo (TAYYAB et al., 2019).

A abordagem de Produção Mais Limpa leva à integração da implementação de estratégias de proteção ambiental em produtos, serviços e processos com o objetivo de aumentar a eficiência do processo e minimizar os riscos para a humanidade e o meio ambiente. Além disso, colabora para a preservação de energia e matérias-primas, garante

a redução ou eliminação de desperdícios e materiais tóxicos, e minimiza a quantidade de resíduos durante os processos de produção. A implementação da produção mais limpa na indústria têxtil não se limita ao desenvolvimento de novos materiais substitutos, mas também há espaço para melhorias técnicas (CHEN et al., 2017), inovações na gestão de processos, investimentos na aquisição de equipamentos promissores e a adoção da política de avaliação do ciclo de vida.

É possível identificar e levantar as diversas oportunidades de P+L, no entanto é obrigatório proceder com a avaliação técnica, ambiental e econômica de cada ideia gerada e elencar as prioridades para implementação. No caso da avaliação técnica são avaliados as propriedades e os requisitos de insumos e outros materiais e alterações nos equipamentos sem modificar a qualidade do produto (OZTURK E CINPERI, 2018).

Na avaliação ambiental deverão ser observados os melhoramentos ambientais que poderão ser obtidos pela corporação, instituindo ou utilizando indicadores ambientais, podendo-se citar, dentre eles: diminuição do uso de matérias-primas, redução da formação de carga orgânica, inorgânica e metais tóxicos no efluente final e alteração da categorização dos resíduos sólidos (TAYYAB et al., 2019). Estes resultados deverão ser medidos e comprovados por meio da realização de análises laboratoriais.

A avaliação econômica será a última etapa realizada onde se fará o dimensionamento do investimento necessário, todo o custo técnico e ambiental envolvido (KIM e SARKAR, 2017) e até mesmo a obtenção da licença ambiental e outras autorizações necessárias.

As oportunidades de P+L encontradas devem ser descritas de modo a permitir a diminuição do consumo e da geração de resíduos finais de modo que não prejudique a produção.

Assim, é necessário inserir um modelo de gestão verde integrado para melhorar o desempenho ambiental da indústria têxtil, abordando diferentes indicadores de manufatura ambientalmente conscientes. Geralmente os estudos e pesquisas analisados, considera apenas um indicador, seja o consumo de água ou a geração de resíduos (ROY; SEN; PAL, 2020). Portanto, falta uma visão holística para controlar os danos ambientais de maneira ampla e integrada.

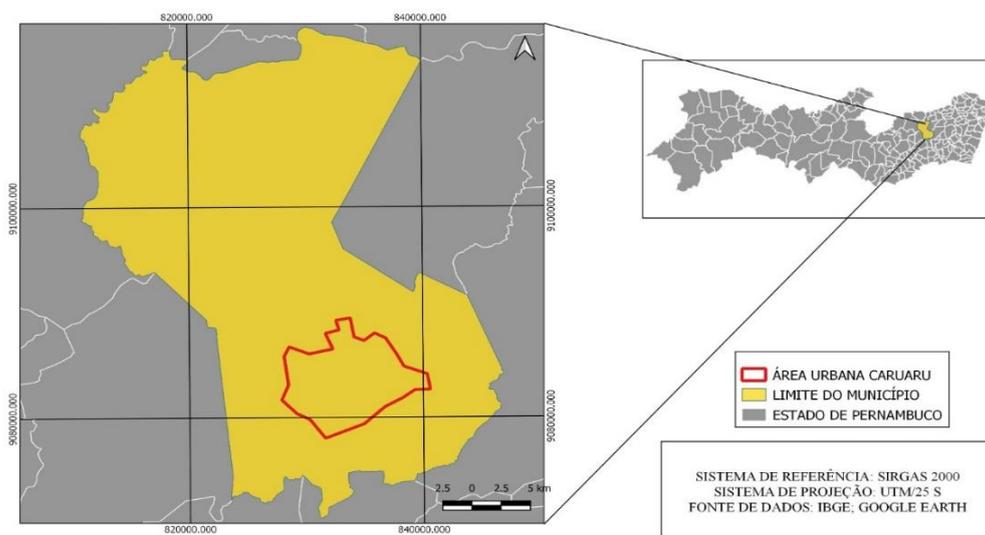
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O Agreste Pernambucano é o segundo maior polo de confecção têxtil no Brasil e o maior polo de confecções do Nordeste. Segundo a Agreste TEX (2022), mais de 800 milhões de peças de vestuário são produzidas todos os anos, tanto para o comércio nacional quanto para o internacional e estima-se que existam na região pelo menos 14.000 empreendimentos, entre formais e informais, e mais de 100.000 pessoas envolvidas diretamente na produção. O polo é composto por 10 municípios, sendo os de Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Caruaru os principais produtores e é justamente na cidade de Caruaru que o presente estudo foi realizado.

A cidade de Caruaru encontra-se no agreste de Pernambuco (Figura 4) a uma distância de 130 km de Recife, capital do estado. Em relação as atividades econômicas, a principal atividade está centrada no comércio e serviços, seguido da indústria, com destaque para o setor de confecções, sendo um dos maiores centros de confecções do país com sua famosa Feira da Sulanca. A cidade de Caruaru também está em primeiro lugar na economia das cidades do interior e a sexta maior economia do estado.

Figura 4 - Localização do município de Caruaru – PE



Fonte: Autora (2021).

Caruaru está inserida no Arranjo Produtivo Local (APL), que nada mais é do que aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território que apresentam especialização produtiva e mantêm algum vínculo de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais tais como governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e pesquisa (ITEP, 2019). O objetivo principal de um Arranjo Produtivo Local é dinamizar as estruturas empresariais gerando renda e emprego (ITEP, 2019).

A escolha pela cidade de Caruaru deu-se devido à acessibilidade do programa de pós-graduação em engenharia ambiental da UFRPE com as empresas desse polo têxtil. Após a definição da cidade escolhida para se realizar o estudo, foram analisadas empresas que contribuiriam para a coleta de efluente líquidos produzidos e que possuíssem sistemas de tratamento de efluentes para realizar a captação do efluente antes e depois da ETE.

Uma lavanderia autorizou a utilização dos dados da empresa e contribuiu com a pesquisa, sendo fornecidos dados dos produtos químicos e corantes utilizados nos processos, dificuldades enfrentadas pela empresa no que tange à esfera ambiental, realização da coleta de efluentes em suas dependências para a caracterização do efluente bruto e tratado, funcionamento e combustíveis utilizados nas caldeiras e demais informações que contribuíram para uma visão macro do funcionamento da mesma para gerar soluções plausíveis e que contribuam para o desenvolvimento sustentável na lavanderia.

Para fins de confidencialidade das informações da lavanderia de beneficiamento têxtil selecionada, esta será identificada como “Lavanderia Y” ou “Empresa Y” e a estação de tratamento de efluente têxtil que será estudada será identificada como “ETE Y”. A “empresa Y”, considerada como sendo uma microempresa pelo CNPJ, encontra-se localizada e ativa no município de Caruaru, no estado de Pernambuco desde 02 de fevereiro de 1999.

No que diz respeito a documentação legal, a “lavanderia Y” possui alvará de funcionamento da vigilância sanitária, bem como a licença de operação válida pela CPRH. Em relação aos insumos, a empresa utiliza tecido jeans e os chamados PT (Prontos para Tingir), que são tecidos em malha; são usados produtos químicos, água

(consumo médio de cerca de 1.500 m³ de água ao mês) e biomassa para o aquecimento das caldeiras.

4.2. Coleta e análise de dados

De maneira geral, o estudo de caso se inicia como uma metodologia qualitativa e se expande para investigações quantitativas (PEREIRA et al., 2018), onde os estudos quantitativos e os qualitativos podem se complementar de modo a fornecer um melhor entendimento sobre um determinado estudo.

4.2.1. Identificação das etapas e produtos envolvidos nos processos das lavanderias

No primeiro momento, foi realizado um estudo teórico sobre o processo produtivo têxtil, com o objetivo de facilitar a compreensão e a análise durante a inserção no trabalho de campo. A coleta de dados na “empresa Y”, teve início a partir da investigação de campo, através de consulta aos registros da empresa, visita técnica a lavanderia para conhecer suas estruturas e processos, enumerando características físicas e as sequências das etapas utilizadas em seus processos.

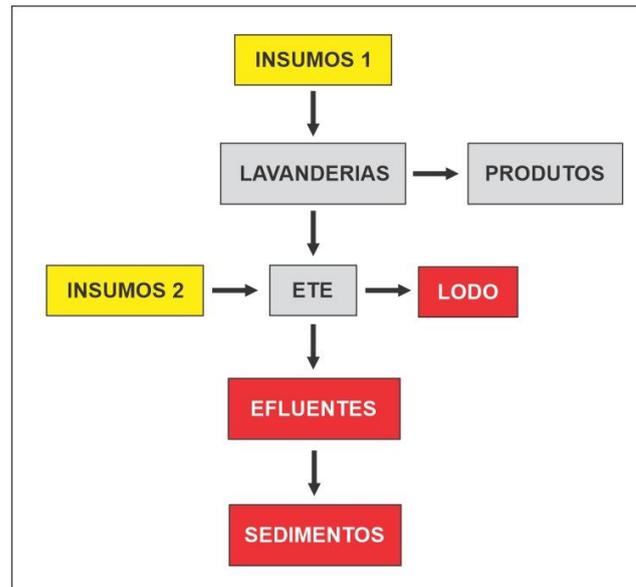
Foi realizado observações, anotações, registros fotográficos e conversas com os responsáveis pela unidade fabril para entender as etapas envolvidas no beneficiamento de jeans, bem como os produtos utilizados dentro dos seus processos (Figura 5), dando um foco especial aos metais pesados existentes e presentes no efluente têxtil gerado.

As anotações no diário de campo foram escritas em um caderno, onde foram registradas todas as observações importantes durante as conversas e ao longo da visita que foi orientada por uma colaboradora da empresa estudada, que consistiu através de um tour pelas etapas do processo produtivo das lavanderias. A visita para conhecer todo o processo produtivo teve duração de uma hora e meia e foi de extrema importância para entender o funcionamento da empresa e as problemáticas ambientais existentes.

Durante a realização da visita, foi verificado junto a alguns colaboradores da lavanderia, os principais desafios na área ambiental por eles enfrentados dentro da empresa. Também foi levantado se a organização possuía indicadores ambientais, sistema

de gestão ambiental, consultores ambientais, laboratório de análises químicas para controle dos efluentes tratados entre outros questionamentos.

Figura 5: Fluxo de inserção dos insumos no processo produtivo



Fonte: Autora (2021).

Através do conhecimento e entendimento de todo o processo da lavanderia Y, foi possível estabelecer ações de gerenciamento, planejamento e implantação de medidas P+L, baseando-se na criação de indicadores ambientais que cooperem com as diretrizes do desenvolvimento sustentável.

4.2.2. Caracterização das amostras de efluentes, antes e depois da ETE da lavanderia

O estudo sobre a caracterização da estação de tratamento da lavanderia ocorreu através da coleta de dados fornecido pela própria empresa estudada. Os responsáveis pelas lavanderias, através de uma visita na estação de tratamento da empresa, explicaram as etapas que o efluente percorre até alcançar os padrões estabelecidos pela legislação, para seu lançamento nos corpos hídricos. E com essa visão geral da ETE, bem como os produtos utilizados para o tratamento do efluente têxtil, foi possível ter uma base do

processo de descrição das diversas fases que envolvem o tratamento do efluente de uma estação de indústria de beneficiamento jeans.

Antes de ser realizada a coleta, foi necessário elaborar uma lista para verificar os equipamentos e materiais necessários para a realização da coleta. A Agência Pernambucana de Meio Ambiente – CPRH forneceu o material da coleta, onde foram coletados os efluentes na entrada e saída da ETE da “Lavanderia Y”. O transporte do material coletado foi realizado em caixas térmicas lacradas e com gelo, para que não ocorresse contaminações e possíveis quebras dos frascos de vidro, durante o percurso foi necessário ter o cuidado para que os frascos da coleta não sofressem grandes vibrações (ABNT, 1987).

Os frascos foram identificados de acordo com a análise pretendida, hora e data da coleta e o coletor utilizado; antes de cada coleta, os frascos foram lavados por no mínimo três vezes, com o próprio efluente para a anulação de possíveis contaminantes nas amostras. A preservação, envio e análise das amostras seguiram as recomendações da NBR 9898 de 1987.

As amostras foram enviadas para a Unidade de Análises Laboratoriais da Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH. Para o presente estudo, foram feitas as análises dos seguintes metais pesados: Fe, Cu, Cr, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd.

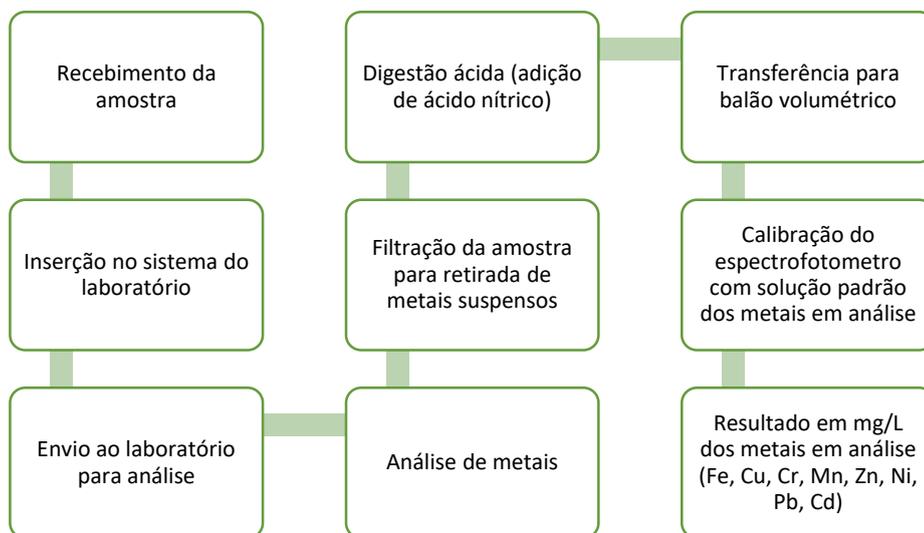
A análise de metais no efluente foi realizada através do espectrômetro de absorção atômica da marca Varian AA240FS (Fast sequential atomic), por leitura de espectrofotometria, absorção ou emissão do analito atomizado em chama química determina a concentração em mg/L do metal.

No primeiro momento, realizou-se uma filtração não acidificada em membrana de 0,45 µm, para separar os metais que ficaram na forma dissolvida de outros metais em suspensão, logo depois, foi realizada uma digestão ácida com ácido nítrico, sob aquecimento, até a formação de um resíduo de coloração clara, onde foi permitido sua evaporação e logo após, foi colocado em um balão de 50 mL, para leitura no equipamento (Figura 6).

Para fins de verificação da efetividade do tratamento na “ETE Y”, os resultados foram comparados com o que demanda a legislação pertinente, principalmente a resolução nº 430/2011 do CONAMA que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores.

Partindo dos resultados encontrados das amostras do efluente têxtil, no que tange sobre a análise dos comportamentos dos metais, bem como a discussão química e ambiental dos resultados, a proposta consistiu na utilização desses dados para correlacionar seus efeitos com o lodo proveniente da estação de tratamento. Dessa maneira, foi possível gerar propostas de melhorias tanto para o efluente, como na etapa posterior no que diz respeito a geração do lodo têxtil.

Figura 6: Fluxograma do processo de análise dos metais



Fonte: Autora (2022).

É importante salientar que o conhecimento da natureza de um efluente é essencial para o desenvolvimento de técnicas de tratamento, visto que, deve estar de acordo com os limites permitidos pela legislação ambiental vigente. Por conta da extrema diversidade de processos, matérias-primas, produtos auxiliares, técnicas e equipamentos utilizados na indústria têxtil, os efluentes variam bastante e precisam ser analisados em cada caso.

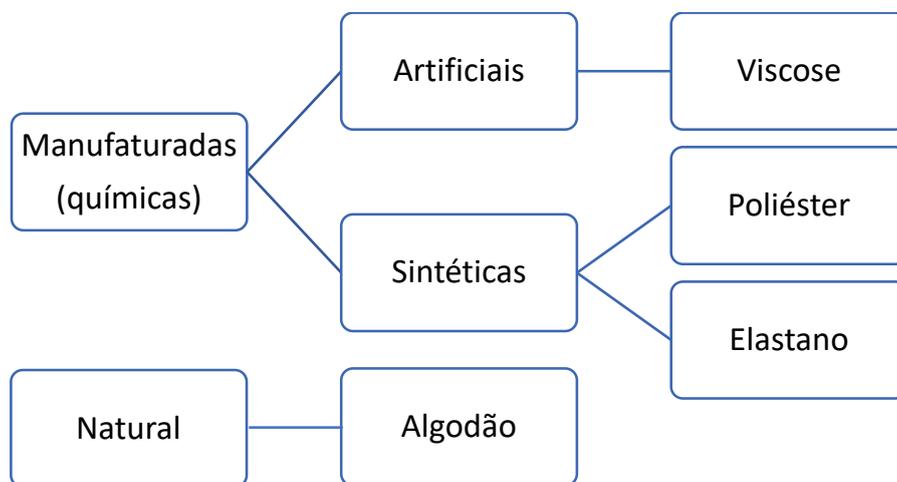
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Descrição do processo produtivo

As lavanderias de beneficiamento têxtil, tanto do jeans como de demais tecidos, são estruturas físicas que concentram uma diversidade de máquinas e colaboradores que trabalham em busca de atingir seu objetivo final: o beneficiamento de peças cruas em peças acabadas que estejam de acordo com a tendência da moda. De acordo com Bidu et al. (2021), na indústria têxtil as peças de roupas passam por diversos processos, tais como a desengomagem, alvejamento, amaciamento, tingimento e acabamento. É importante enfatizar que essas unidades de processos da presente indústria são responsáveis pela alta geração de efluentes têxteis altamente poluídos.

A cadeia produtiva têxtil pode ser conhecida em função das fibras têxteis utilizadas. Na lavanderia estudada, as peças de roupas prontas são confeccionadas com tecidos de fibras naturais e manufaturadas, estas são conhecidas também como fibras químicas, onde o processo de produção é dividido em fibras artificiais e sintéticas, que consiste na transformação química de matérias-primas naturais (Figura 7).

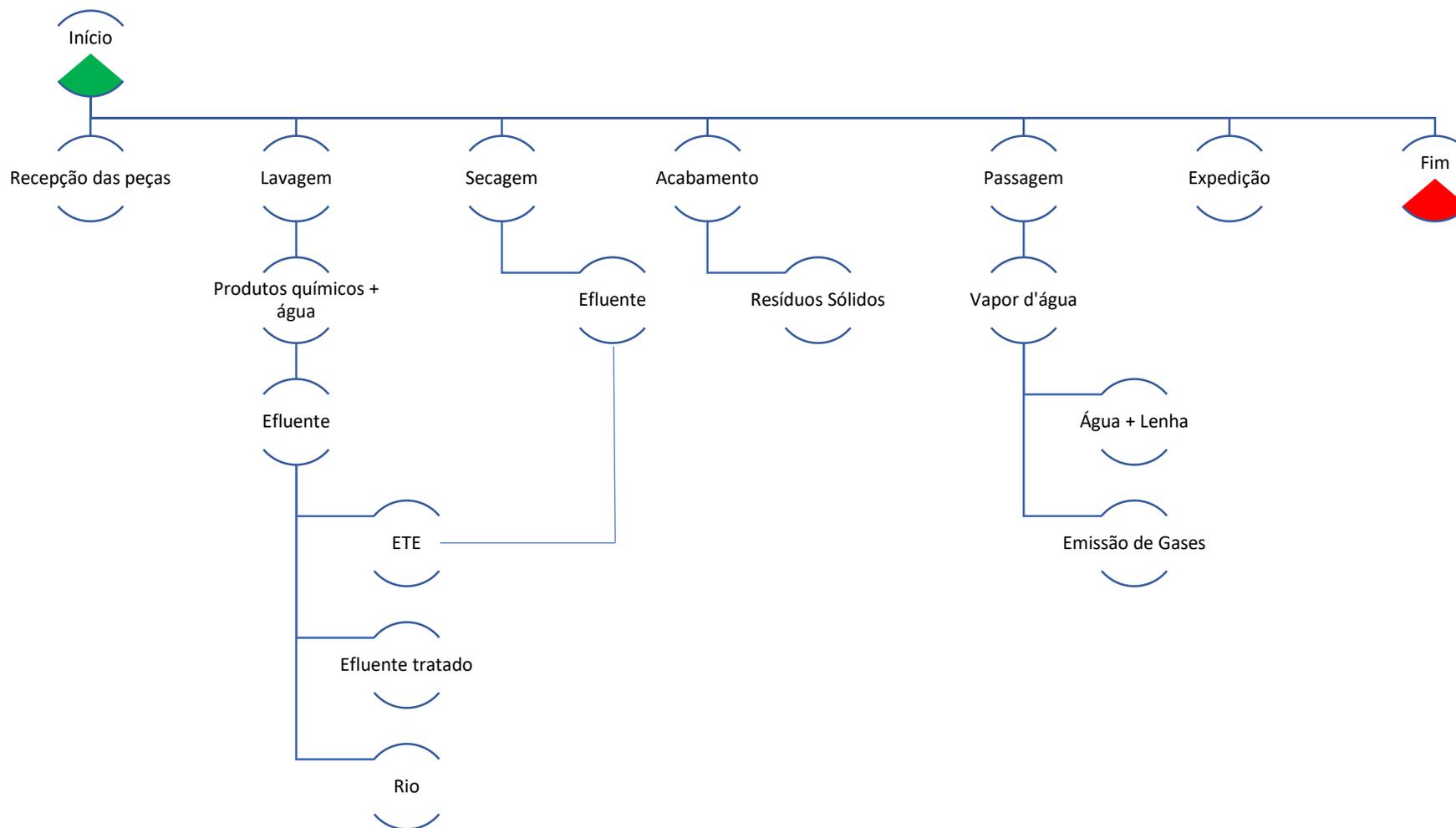
Figura 7: Fibras têxteis presentes na lavanderia Y



Fonte: Autora (2022).

A partir das observações, anotações e registros fotográficos coletados durante a visita técnica, foi elaborado um fluxograma (Figura 8) das etapas de beneficiamento das peças de roupas trabalhadas pela lavanderia em questão.

Figura 8: Fluxograma das etapas de beneficiamento da “lavanderia Y”



Fonte: Autora (2022).

As peças de roupas são entregues pelo fornecedor em pilhas que são organizadas no pátio central da “empresa Y”. As peças são encaminhadas para a produção, de acordo com as especificações elencadas pelo cliente. Dessa maneira, a área técnica da lavanderia, elabora uma ficha de serviço aonde descreve-se todos os processos e fornece as informações pertinentes a temperatura da lavagem, o tempo da operação, a forma como será realizada a lavagem e os produtos químicos que devem ser utilizados. Uma diversidade de técnicas concede as peças características exclusivas, dependendo apenas das orientações dos clientes e o trabalho realizado pelos colaboradores responsáveis pela lavagem (Quadro 3).

Quadro 3: Processos e efeitos da “lavanderia Y” na etapa de lavagem

Processo	Descrição	Produtos
Enxágue	É realizado após todos os processos	Água, sabão, carbonato de sódio
Desengomagem	Remove a goma das peças de jeans.	Enzimas
Estonagem	É um processo de lavagem que utiliza o atrito causado entre pedras e as peças que promovem o desgaste do tom azul e o efeito de envelhecimento.	Pedras e enzimas celulósicas
Alvejamento	Remove a cor amarelada do tecido	Soda cáustica, peróxido de hidrogênio, metassilicato
Desbotamento	Retira substancialmente a cor da peça através da utilização do cloro.	Cloro, hipoclorito de sódio
Neutralização	Normalmente é uma lavagem que tem por objetivo neutralizar as peças que receberam efeitos a base de permanganato de potássio e cloro.	Metabissulfito de sódio
Tingimento	As peças recebem os corantes sob os fios.	Cloreto de sódio, corantes
Amaciamento	Finalização das peças de jeans que proporciona maciez ao tecido.	Amaciante

Fonte: Autora (2022).

É justamente na etapa de lavagem que os efluentes industriais são concebidos, por conta da inserção de diversos insumos como água e produtos químicos. Os produtos químicos utilizados, como o corante, ficam armazenados no laboratório de química da “lavanderia Y” (Figura 9), onde são realizadas as dosagens corretas para a sua aplicabilidade.

Figura 9: Laboratório de química da “lavanderia Y”



Fonte: Autora (2022).

Quando se trata do tingimento das peças, são utilizados corantes para alterar e colorir as roupas, trazendo diversos efeitos, como o “Used”, que proporciona um efeito de peça usada e é caracterizado pela fixação do permanganato de potássio na peça através de uma pistola de compressão (Figura 10).

Figura 10: Utilização de permanganato de potássio através de pistola de compressão



Fonte: Autora (2022).

No entanto, na grande maioria dos casos da etapa de tingimento, os corantes são aplicados de maneira direta, ou seja, nas máquinas de lavar de tambores rotativos industriais (Figura 11), com uma capacidade de processar cerca de 120 peças por lavagem. Para permitir a absorção de corantes nas fibras dos fios ou tecidos, muitos outros produtos químicos são usados (SCHOLZ e YASEEN, 2018). E é justamente através dessa junção, que esses produtos tornam-se parte dos efluentes de águas residuais têxteis, contribuindo para a aparência inaceitável e o efeito tóxico nas águas residuais.

Figura 11: Máquinas industriais de lavar da “lavanderia Y”



Fonte: Autora (2022).

Todo o processamento da lavagem e isso inclui o tingimento das peças, geram uma grande quantidade de efluentes de composição complexa, não apenas pelos corantes, mas também pela presença de substâncias orgânicas (gomas, enzimas, amido) e inorgânicas, tais como: permanganato de potássio, ácidos, amido, catalíticos, álcalis, surfactantes e sais inorgânicos, como o NaCl.

Através da verificação das Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), foi verificado que a “lavanderia Y” faz uso de cerca de 95 produtos

químicos. No quadro 4 abaixo encontra-se os principais produtos químicos utilizados pela indústria e o consumo médio diário da empresa.

Quadro 4: Produtos químicos utilizados na “lavanderia Y”

PRODUTOS QUÍMICOS	Kg/dia
<i>Ácido Acético</i>	15,78
<i>Ácido cítrico</i>	16,42
<i>Amaciante</i>	182,59
<i>Antimigrante</i>	25,00
<i>Branqueador ótico</i>	16,00
<i>Cloreto de Sódio</i>	34,00
<i>Corante</i>	8,52
<i>Desengomante</i>	27,31
<i>Enzima Ácida</i>	26,62
<i>Enzima neutra</i>	16,20
<i>Hipoclorito de Cálcio</i>	14,00
<i>Hipoclorito de Sódio</i>	15,25
<i>Metabissulfito de Sódio</i>	39,00
<i>Permanganato de potássio</i>	4,00
<i>Peróxido</i>	15,00
<i>Soda Cáustica a 70%</i>	22,00
<i>Solução fixadora</i>	18,72
TOTAL	496,41

Fonte: Autora (2022).

Uma substância química que precisa de uma especial atenção é o permanganato de potássio, pois apresenta sérios riscos à saúde humana, como a irritação nos olhos até sintomas que afetam o Sistema Nervoso Central, causando dor de cabeça, vertigem, sonolência, risco de câncer potencial nos seres humanos entre outros.

Somado a isso, quando em contato com outras substâncias, pode gerar risco de explosão, além de favorecer a combustão de materiais combustíveis e provocar manchas na pele e roupas, sendo necessário ter cuidado no seu manuseio (LUIZ e VALENTIM, 2019). Dessa maneira, é importante que sua armazenagem seja separada de outros ácidos e longe de lugares com mudanças de temperatura e exposição ao ar. Na “empresa Y”, o permanganato de potássio é utilizado em várias receitas para proporcionar efeitos diversos.

Há cerca de 30 anos atrás a remoção dos corantes e os íons metálicos no tratamento dos efluentes têxteis, foi objeto de preocupação devido a sua toxicidade e nocividade ao meio ambiente. Atualmente o desenvolvimento de tecnologias está voltado à mineralização de compostos aromáticos, eliminação da toxicidade dos efluentes e do lodo, recuperação de sais e reuso de água residual (HOLKAR et al., 2016).

Na “lavanderia Y”, existe uma outra substância química que é utilizada com frequência na etapa de lavagem, com a finalidade de neutralizar o permanganato de potássio, essa substância é o sal metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Essa substância concede as águas tratadas um cheiro extremamente forte, o que impossibilita uma utilização em maiores quantidades das águas de reuso na etapa da lavagem, pois em contato com a água libera o dióxido de enxofre (SO_2).

Finalizado todo o processo de lavagem, a próxima etapa é a de secagem, que por meio da centrifugação retira toda a umidade presente nas peças, o que acaba gerando efluentes mínimos, mas que também são coletados por valetas presentes no chão do setor e são encaminhadas para a estação de tratamento de efluente.

Após a secagem das peças, as mesmas seguem para a etapa de acabamento, em que recebem toques manuais e mecânicos que geram resíduos sólidos, como os retalhos. Com as peças de roupas acabadas, elas são encaminhadas para as etapas de passagem, em que se faz necessário a utilização de vapor de água dos ferros para engomar as peças,

esse vapor de água é proveniente das caldeiras. Para finalizar, as peças seguem para a separação e expedição (Figura 12).

Figura 12: Peças separadas na “lavanderia Y”, prontas para a expedição



Fonte: Autora (2022).

5.2. Caracterização da estação de tratamento de efluente da “lavanderia Y”

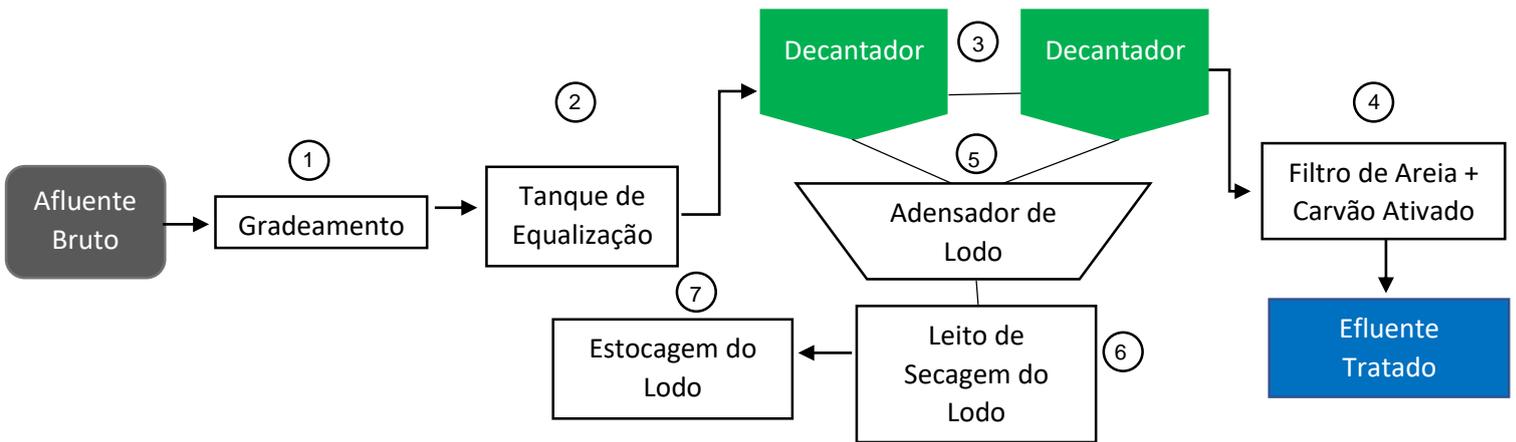
Dentre as diversas indústrias, a indústria têxtil vem se configurando como uma das maiores geradoras de efluente líquido, sendo esse efluente o principal impacto ambiental negativo enfrentado pelo setor. A composição dos efluentes têxteis gerados está relacionado com a tecnologia, tipo de fibra, processos industriais realizados e também das substâncias químicas empregadas.

O exacerbado uso da água nessa indústria é gerado, especialmente, nas operações de lavagem e beneficiamento de peças de tecidos e devido aos diferentes processos produtivos, os efluentes líquidos acabam contendo uma infinidade de substâncias contaminantes, fornecendo uma ilustração adequada de poluição (AKHTAR et al., 2018). Dessa maneira, é comum nesse efluente industrial encontrar uma diversidade de substâncias químicas, que acabam não ficando retidas nas peças de roupas e que podem causar sérios problemas ao meio ambiente se não forem eliminados ou tratados de maneira adequada.

Para que haja a minimização desses impactos negativos na natureza, os efluentes têxteis devem passar por um tratamento antes de serem lançados nos corpos de águas, para que as cargas contaminantes diminuam a limites aceitáveis pela legislação ambiental.

Na maioria das vezes, as lavanderias industriais desenvolvem apenas o tratamento físico químico, que é o caso da “lavanderia Y” (Figura 13).

Figura 13: Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes da “lavanderia Y”



Fonte: Autora (2022).

A Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos (ETE) da “empresa Y” é constituída de várias operações unitárias de tratamento conforme foi observado no fluxograma anterior e como pode ser verificado abaixo:

1. Gradeamento;
2. Tanque de Equalização;
3. Decantador;
4. Filtro de Areia e Carvão Ativado;
5. Adensador de Lodo;
6. Leito de Secagem do Lodo;
7. Estocagem do Lodo.

1 – Gradeamento

O processo na ETE da “lavanderia Y” é iniciado no momento em que o efluente bruto entra na caixa de gradeamento (Figura 14), que tem como função, reter os materiais sólidos grosseiros, tais como fiapos, retalhos, plásticos, madeiras ou qualquer outro sólido com dimensão superior ao espaçamento das barras e que possa danificar os próximos equipamentos existentes.

Figura 14: Entrada do efluente bruto na ETE da “lavanderia Y”



Fonte: Autora (2022).

Dessa maneira, o gradeamento tem a função de filtrar as primeiras impurezas e encaminhar o efluente têxtil por meio de tubulações para a próxima etapa.

2 – Tanque de Equalização

Conforme FAVARETTO (2011), o tanque de equalização possui cinco objetivos básicos:

- a) Neutralizar despejos ácidos e alcalinos através da mistura deles;
- b) Minimizar variações de vazão;
- c) Minimizar variações de concentração;

- d) Diluir compostos tóxicos;
- e) Fornecer alimentação contínua aos processos de tratamento posteriores.

O objetivo principal do tanque de equalização é homogeneizar o efluente líquido através de bolhas de ar ejetadas, tornando-o uniforme em relação a temperatura e pH, possibilitando que as etapas seguintes ocorram sem grandes variações em seus parâmetros.

O tanque de equalização da “ETE Y” possui em sua composição um aerador no seu interior, como forma de auxiliar a oxidação de compostos inorgânicos e orgânicos, aumentando dessa maneira, a eficácia do tratamento. Com o objetivo de regular a vazão de saída constante, o tanque de equalização torna possível a distribuição igualitária do efluente líquido e contribui dessa forma para sua homogeneização.

3 – Decantador

A “ETE Y” possui dois tanques de decantação que tem como objetivo processar a sedimentação das partículas coloidais em suspensão que existem no efluente. O processo de decantação da “ETE Y” é realizado com o auxílio de coagulantes, como o Hidróxido de Sódio (NaOH), que auxilia no aumento da velocidade de sedimentação.

Na sequência, é adicionado o Sulfato de Alumínio (Al_2SO_4), composto coagulante que age nas cargas superficiais das moléculas, facilitando a formação de flocos quando adicionado um polímero. Para finalizar, são adicionados polímeros, com o objetivo de formar flocos e ajudar na separação de sólidos e líquidos.

Os tanques de decantação da “ETE Y” trabalham em regime contínuo e com baixa velocidade de fluxo, regime esse que favorece a formação de lodo, mas que ao mesmo tempo gera um efluente relativamente límpido em baixa turbidez que segue para o filtro de areia e carvão ativado.

4 – Filtro de Areia e Carvão Ativado

A fração líquida dos decantadores segue para os filtros de areia e carvão ativado, com o propósito de fazer a água passar por um meio granular de areia grossa, fina e

brita e reter nesses materiais o restante dos seus resíduos sólidos. Por esse motivo, o filtro de areia da “ETE Y” foi projetado para captar no seu meio poroso as partículas em suspensão, micro-flocos presentes desde o tanque de decantação e a matéria orgânica, proporcionando a reutilização da água no processo.

A introdução de uma camada de carvão ativado no leito de areia nos filtros é uma forma que a “lavanderia Y” encontrou para adequar a filtração na remoção de orgânicos. Na “ETE Y”, após a sedimentação do leito filtrante, o lodo formado em sua superfície é removido e encaminhado para o tanque adensador.

5 – Adensador de Lodo

O adensador de lodo da “ETE Y” tem como principal objetivo a retenção e adensamento de todo o lodo proveniente do tanque de decantação, para que em momento posterior, possa ser encaminhado para os leitos de secagem. Para Alves (2019), o adensamento por gravidade é um método de pré-tratamento mecânico de lodo, com o propósito de melhorar as condições operacionais da etapa seguinte de tratamento.

O adensamento por gravidade é utilizado na “lavanderia Y” a partir de descargas periódicas advindas do fundo do tanque de decantação, sendo o lodo descartado periodicamente, dependendo da demanda semanal. A descarga é realizada de forma lenta e gradual e segue através do canal de lodo que posteriormente é encaminhado aos leitos de secagem.

6 – Leito de Secagem do Lodo

Para que possa ocorrer a desidratação do lodo existem vários métodos, como lagoas de secagem, prensas desaguadora, centrífugas e outros, no entanto, dentre esses métodos, o meio mais convencional utilizado são os leitos de secagem, pois possuem baixo custo e de simples manutenção (RODRIGUES et al., 2018). Por esse motivo, o leito de secagem foi escolhido pela “lavanderia Y”.

O leito de secagem da “ETE Y” é formado por tanque aberto (Figura 15) que tem como finalidade a retenção do lodo advindo do adensador e sua desidratação a partir da direta incidência solar. Apesar do uso de tecnologias mecanizadas terem crescido nos últimos anos, a maioria das lavanderias optam pelo leito de secagem em estações de tratamento de efluentes devido ao clima propício do Brasil para a secagem natural.

Figura 15: Leitões de Secagem da “ETE Y”



Fonte: Autora (2022).

A parte líquida é redirecionado para o corpo receptor e a parte sólida é retirada para a área de estocagem. É importante frisar que a “empresa Y” possui um filtro instalado no final do leito de secagem para que o efluente líquido descartado possua uma qualidade ainda maior.

Toda essa etapa de desidratação do lodo possui uma importância econômica e técnica de grande valor para os sistemas de tratamento e a disposição final dos lodos das ETAs, pois a redução do volume de lodo proporcionada pelas unidades de desidratação permite uma grande economia em transporte para a disposição final dos resíduos.

7 – Estocagem do Lodo

A área de estocagem de lodo da “lavanderia Y” fica localizada na parte externa da empresa próxima aos leitos de secagem. É construída de madeira e forrada com telhas brasilit, pois evita molhar o lodo em épocas de chuvas.

A área armazena o lodo advindo dos leitos de secagem e auxiliar na finalização da secagem do lodo. Após seco, o lodo é armazenado em sacos por um período aproximado de uma semana e enviado para o aterro sanitário.

Os lodos de ETAs é um assunto que vem causado preocupação da sociedade moderna há um certo tempo, sendo de extrema importância propor e avaliar alternativas para seu reaproveitamento (RODRIGUES et al., 2018), e isso trará benefícios tanto em termos ambientais quanto em termos econômicos, visto que o resíduo tornará a ser matéria prima, gerando novos produtos, renda e geração de empregos.

5.3. Análise do efluente têxtil

A realização da análise de metais do efluente gerado na “lavanderia Y” permite verificar o atendimento a legislação ambiental no que tange ao lançamento do efluente em corpos hídricos, a possibilidade de reuso para o reaproveitamento no processo têxtil, a eficiência do tratamento e bem como as escolhas de tratamentos complementares para melhorar o resultado final.

É importante destacar que os metais pesados presentes no efluente têxtil da “empresa Y”, provêm principalmente de corantes. Corantes dispersos, em geral, apresentam teores maiores de metais do que os reativos e diretos, mas estes teores dependem da cor considerada.

Dessa forma, o objetivo desse tópico consistiu em analisar e comparar os resultados dos metais pesados nos efluentes têxteis antes e depois da “ETE Y” com os padrões de lançamentos instituídos pela legislação CONAMA 430/2011. Os resultados das análises de efluentes podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1: Resultado da análise de efluentes da “lavanderia Y”

Presença de Metais no Efluente		
Análise	Entrada Efluente	Saída Efluente
Cd	0,008 mg/L	0,00048 mg/L
Cr	0,016 mg/L	0,013 mg/L
Cu	0,165 mg/L	0,011 mg/L
Fe	1,497 mg/L	0,17 mg/L
Mn	9953,00 mg/L	11,78 mg/L
Ni	0,01 mg/L	0,04 mg/L
Pb	0,025 mg/L	0,0041 mg/L
Zn	0,08 mg/L	0,004 mg/L

Fonte: Autora (2022).

Através dos resultados encontrados é possível avaliar a eficiência do sistema de tratamento, em que está diretamente relacionada a técnica utilizada para o tratamento e a composição do efluente, sendo assim foi necessário avaliar os componentes do efluente gerado para determinar se a técnica empregada na “lavanderia Y” era eficiente na remoção dos metais pesados. Na tabela 2 é possível perceber que a técnica empregada se mostra eficiente para todos os metais pesados.

Tabela 2: Eficiência da ETE na “lavanderia Y”

Presença de Metais no Efluente			
Análise	Entrada Efluente	Saída Efluente	Eficiência
Cd	0,008 mg/L	0,00048 mg/L	94%
Cr	0,016 mg/L	0,013 mg/L	18,75%
Cu	0,165 mg/L	0,011 mg/L	93%
Fe	1,497 mg/L	0,17 mg/L	88,60%
Mn	9953,00 mg/L	11,78 mg/L	99,90%
Ni	0,01 mg/L	0,04 mg/L	-
Pb	0,025 mg/L	0,0041 mg/L	83,60%
Zn	0,08 mg/L	0,004 mg/L	95%

Fonte: Autora (2022).

Outro ponto a ser observado é a comparação dos resultados de saída do efluente com as diretrizes estabelecidas na cadeia de comando e controle (Tabela 3), ou seja, a legislação pertinente que neste caso é a CONAMA n° 430/2011.

Tabela 3: Comparação da análise de efluentes e a legislação

Presença de Metais no Efluente				
Análise	Entrada Efluente	Saída Efluente	Eficiência	CONAMA 430/11
Cd	0,008 mg/L	0,00048 mg/L	94%	0,2 mg/L
Cr	0,016 mg/L	0,013 mg/L	18,75%	1 mg/L
Cu	0,165 mg/L	0,011 mg/L	93%	1 mg/L
Fe	1,497 mg/L	0,17 mg/L	88,60%	15 mg/L
Mn	9953,00 mg/L	11,78 mg/L	99,90%	1 mg/L
Ni	0,01 mg/L	0,04 mg/L	-	2 mg/L
Pb	0,025 mg/L	0,0041 mg/L	83,60%	0,5 mg/L
Zn	0,08 mg/L	0,004 mg/L	95%	5 mg/L

Fonte: Autora (2022).

Em relação aos metais avaliados, o manganês se destacou devido a sua alta concentração, tanto no efluente bruto como no efluente tratado, apesar de ter alcançado o maior nível de eficiência em relação aos outros metais analisados.

A legislação CONAMA 430/2011 especifica que a concentração permitida para o lançamento do manganês nos corpos hídricos é de 1 mg/L, muito abaixo da concentração encontrada no efluente tratado pela “ETE Y”, o que indica que, como tratamento de efluentes tem se mostrado eficiente, é necessário diminuir a entrada desse composto no sistema produtivo, para que sejam alcançados resultados compatíveis com a legislação.

O manganês pode assumir até 11 estados de oxidação diferentes e formar uma infinidade de compostos, sendo o sal permanganato de potássio (KMnO₄) um dos agentes oxidantes utilizado nos processos produtivos da “empresa Y”. O permanganato de potássio é empregado nos processos da lavanderia estudada para a confecção de detalhes mais claros no jeans ou deixa-lo com um tom de azul mais claro, isso tudo é devido ao seu composto iônico sólido fortemente oxidante.

Além de ser tóxicos para os organismos aquáticos ao ser lançado nos corpos de água, o permanganato de potássio é tóxico para o ser humano, podendo gerar queimaduras na pele e nos olhos. O manganês quando colocado em exposição crônica ao ser humano, pode inferir diversos problemas de saúde principalmente em crianças como o verificado por Carvalho (2013) onde as crianças tiveram menor desempenho em medidas neuropsicológicas e comportamentais. Dessa maneira a aplicação do produto químico deve ser controlada quando lançado no meio ambiente e uma das formas possíveis é a aplicação de neutralização de metabissulfeto para ajudar na obtenção da segurança no processo.

5.4. Aspectos, Impactos e Indicadores ambientais

No ano de 2015, diversos líderes mundiais reuniram-se em Nova York e decidiram traçar um plano de ação com vários objetivos, entre eles, a garantia de proteção ao planeta. A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, gerou a criação de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com busca a alcançar um caminho sustentável no mundo, comunidade e indústria. Na figura 16 encontra-se as 17 ODS e pontilhado em vermelho estão aqueles objetivos que devem ser inseridos na cultura organizacional da “lavanderia Y”.

Figura 16: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030

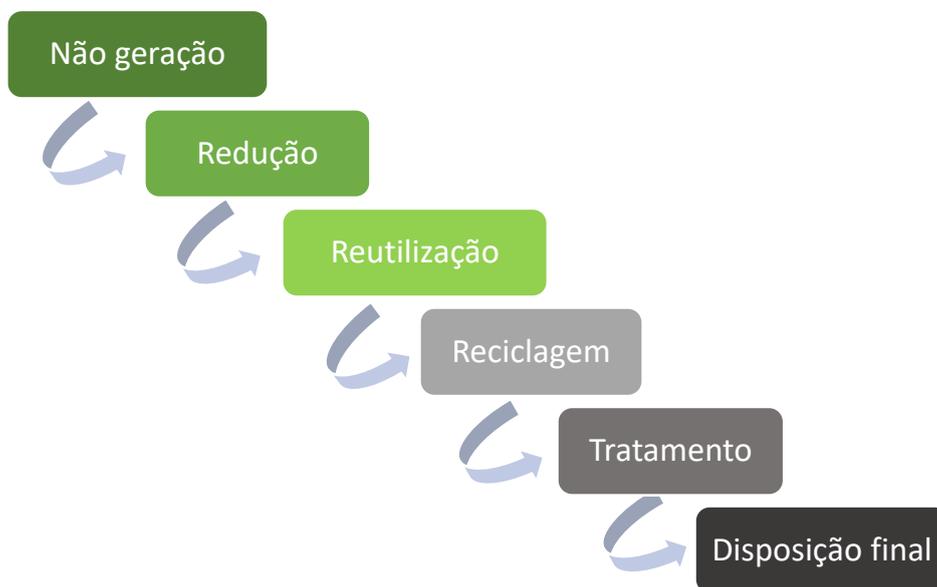


Fonte: ONU (2015).

No Brasil, para reduzir o impacto negativo dos resíduos sólidos no meio ambiente, no ano de 2010, ou seja, antes mesmo da criação dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), uma lei federal que determina uma série de objetivos e diretrizes de gerenciamento ambiental que devem ser cumpridas em todo o território nacional, seja em órgãos públicos ou privados.

A lei 12.305/2010 (PNRS), estabelece uma ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos que deve ser observada. Essa ordem de prioridade contempla a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, disposição final e pode ser melhor observada na figura 17.

Figura 17: Sequência de priorização do gerenciamento dos resíduos sólidos



Fonte: Autora (2022).

Apesar da PNRS tratar sobre a ordem de prioridade para os resíduos sólidos, essa ordem de prioridade pode ser utilizada para uma infinidade de impactos ambientais negativos que possam ser gerados dentro das indústrias, como por exemplo a diminuição de produtos químicos nas lavanderias ou a sua substituição por outros menos agressivos.

Para a implantação de uma política de produção mais limpa, além de conhecer em detalhes os seus processos, as empresas devem estabelecer uma infinidade de

procedimentos para identificar os aspectos ambientais presentes em suas atividades (TAYYAB et al., 2019), que podem ser denominadas de entradas no sistema produtivo e que podem ser controladas, com o objetivo de determinar aqueles que possam gerar impactos negativos significativos sobre o meio ambiente, e esses impactos são conhecidos como a saída do sistema produtivo.

Em posse de quais recursos naturais são utilizados, é possível propor fontes alternativas, modificação de processos, substituição de produtos químicos poluentes por outros menos agressivos entre outros pontos, para que assim todo o processo produtivo seja melhorado.

Cada aspecto ambiental está atrelado a pelo menos um impacto ambiental, que pode ser caracterizado como toda alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas no meio ambiente, proveniente por qualquer energia ou matéria gerada pelas atividades humanas.

Dessa maneira, durante a visita na “lavanderia Y” foi necessário levantar os impactos ambientais negativos potenciais existentes (Quadro 5), tanto no processo produtivo como na ETE, para que através deles, fosse possível criar indicadores que possam ser monitorados e reduzidos.

Quadro 5: Principais impactos ambientais na “lavanderia Y”

PROCESSO PRODUTIVO	ÁGUA	SOLO	AR	POPULAÇÃO
FIBRAS ARTIFICIAIS/NATURAIS	X	X	X	X
LAVAGEM	X	X	X	X
SECAGEM	X	X	X	X
ACABAMENTO		X		X
PASSAGEM			X	
ETE	X	X	X	X

Fonte: Autora (2022).

Após conhecer os principais processos produtivos que geram os maiores impactos ambientais negativos, foi levantado as entradas, saídas, aspectos ambientais e impactos gerados (Tabela 4) do processo produtivo, “ETE Y” e caldeira, pois sabendo essas

informações é possível tratar tais impactos com maior precisão, utilizando produtos e procedimentos específicos para os poluentes existentes.

Tabela 4: Entrada, saída, aspecto ambiental e impacto negativo da “lavanderia Y”

Processo Produtivo	Entrada	Saída	Aspecto Ambiental	Impacto
LAVAGEM	1. Água; 2. Permanganato de Potássio; 3. Polímeros; 4. Corantes; 5. Amaciante;	Efluente Líquido;	Efluente líquido com poluentes diversos, alta carga orgânica, metais e polímeros.	Contaminação dos corpos hídricos, solos e sedimentos, quando não tratado adequadamente.
ETE	Descolorantes (Resinas catiônicas, polímeros orgânicos, polímeros de cloreto de amônio e formaldeído).	1. Resíduo Sólido; 2. Efluente Tratado;	Resíduos sólidos (Lodo) com a presença de químicos provenientes do processo.	Contaminação dos corpos hídricos, lençol freático e solo, caso o resíduo sólido e efluente não sejam destinados adequadamente.
CALDEIRA	Água + Lenha	1. Efluente gasoso; 2. Efluente líquido;	Liberação de vapor com alta temperatura através do uso de lenha para queima na caldeira.	Liberação de poluentes atmosféricos.

Fonte: Autora (2022).

Todas as etapas de produção do setor têxtil são gerados aspectos ambientais, em que os principais aspectos estão relacionados aos resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes industriais, em que estes devem ser controlados e sempre que possível eliminados, pois possuem um alto potencial de geração de impactos ambientais negativos.

De maneira mais ampla, as quantidades produzidas de resíduos têxteis dependem do porte da lavanderia, da eficiência dos equipamentos de produção, do controle das emissões atmosféricas e até mesmo da eficácia dos sistemas de tratamento de efluente. Apesar da disposição final de resíduos sólidos ser a última opção na ordem de prioridade do gerenciamento dos resíduos, ela é a opção mais utilizada na “lavanderia Y”, pois desde o lodo gerado nos sistemas de tratamento de efluentes até os resíduos sanitários e administrativos, todos os resíduos são enviados para o aterro sanitário mais próximo.

A infinidade de produtos químicos presentes nos processos produtivos, principalmente os solventes orgânicos, bem como a utilização de caldeiras para a geração de vapor, são os grandes responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos. No entanto, na “empresa Y”, as caldeiras são as principais responsáveis pelos lançamentos de poluentes atmosféricos, devido a utilização de madeiras de algaroba (*Prosopis juliflora*), restos imobiliários ou outras madeiras (Figura 18) que liberam gases e/ou material particulado.

Figura 18: Lenha utilizada na queima da caldeira na “Lavanderia Y”



Fonte: Autora (2022).

O material particulado, também conhecido como fuligem, pode ser um vetor na geração de problemas respiratórios para os funcionários e moradores próximos da “lavanderia Y”, dependendo da concentração presente no ambiente e do tempo de exposição, além do que, a combustão de lenha e carvão libera monóxido de carbono e micropartículas que são absorvidas pelos pulmões.

Conhecendo os principais impactos ambientais negativos da “empresa Y”, tornou-se possível sugerir alguns indicadores (Quadro 6) que possam trazer benefícios significativos para a competitividade da empresa.

Quadro 6: Indicadores ambientais para a “lavanderia Y”

INDICADOR AMBIENTAL	UNIDADE DE MEDIÇÃO
Controle e recebimento de matérias-primas	-
Substituição/recuperação de produtos químicos	m ³ / produto produzido
Resíduos Sólidos	kg/ produto produzido
Poluentes Atmosféricos	µg/m ³

Fonte: Autora (2022).

É importante salientar que as boas práticas ambientais não devem ser resumidas apenas aos indicadores aqui propostos, mas sempre procurar outras medidas que contribuam para o melhoramento ambiental da organização. Dessa maneira, para auxiliar a “lavanderia Y”, foi elaborado um formulário para verificação de aspectos e impactos ambientais (Apêndice A), para que a própria lavanderia possa verificar suas entradas e saídas, avaliar seus processos e melhorar suas dosagens, insumos e sistemas, seja do processo produtivo como da própria estação de tratamento.

5.5. Boas práticas ambientais com a aplicação do P+L

Com a realização do levantamento dos aspectos e impactos ambientais da “lavanderia Y”, foi possível buscar alternativas para os processos de gestão ambiental com ênfase na produção mais limpa, ou seja, uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, com o objetivo de aumentar a eficiência no uso das matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem dos resíduos gerados nos processos produtivos.

Um modelo para ser alcançado nos objetivos e metas encontra-se no apêndice B, no qual a empresa deverá buscar a melhoria da qualidade de toda a sua produção, gerando dessa forma uma economia significativa que pode gerar retorno de investimento para a própria indústria. Através dessas melhorias, a expectativa é que a legislação ambiental vigente seja cumprida, fazendo que o patamar de sustentabilidade da “empresa Y” aumente, tornando-a competitiva, não apenas para ela, mas para toda a região ao seu redor.

Dessa maneira, o comprometimento da “lavanderia Y” com as metas ambientais irá requerer investimentos financeiros para a melhoria do processo da mesma, inclusive com a aquisição de equipamentos mais modernos que possam aumentar a eficiência produtiva e gerar uma maior segurança na vida dos trabalhadores. Reforçando toda essa linha de pensamento, Barbieri (2011) destaca a importância de três abordagens possíveis na gestão ambiental empresarial:

1. Controle da poluição: relativa ao cumprimento da legislação ambiental;
2. Prevenção da poluição: melhoria dos processos e modificação dos insumos;
3. Estratégia: competitividade em relação aos concorrentes.

No que diz respeito ao controle de poluição, a lavanderia estudada segue as diretrizes estaduais e federais, respectivamente, CPRH e CONAMA, além do termo de ajustamento de conduta para a regularização ambiental das lavanderias, instituído pelo Ministério Público. No entanto, como foi analisado, o metal pesado manganês encontra-se bem acima do estipulado pela Resolução CONAMA 430/11, logo para melhorar o item 1 preconizado por Barbieri é necessário implementar melhorias no item 2 que trata sobre a prevenção da poluição, trazendo como consequência, o alcance do item 3 que é a estratégia. Com a adoção de práticas ambientais instituídas pelo P+L é possível alcançar:

- Benefícios nas condições de trabalho e redução de riscos ocupacionais;
- Diminuição na geração de resíduos, efluentes e emissões atmosféricas;
- Retorno do capital investido em melhorias;
- Redução nos custos de produção;
- Aumento da produtividade, rentabilidade e melhoria na qualidade do produto;
- Melhoria da imagem corporativa da empresa;
- Melhoria do relacionamento entre a empresa e a comunidade vizinha.

5.5.1. Controle do Recebimento de Matérias-Primas

Uma das primeiras etapas produtivas na “lavanderia Y”, está relacionado aos materiais que serão utilizados para o tingimento das peças. Um fato que deve ser observado

ao realizar essa etapa está relacionado ao controle de qualidade dos produtos químicos que serão utilizados nos processos (Quadro 7), através do estabelecimento de normas e critérios aceitáveis nas especificações das matérias-primas.

Quadro 7: Controle e critério na aquisição da matéria-prima

Práticas Corretas	Benefícios Ambientais	Aspectos Econômicos
1. Critério para aquisição do material	1. Redução dos resíduos gerados; 2. Aquisição de produtos certificados; 3. Otimização dos processos produtivos.	1. Redução do custo de produtos químicos; 2. Redução do custo na ETE; 3. Investimento em testes laboratoriais.
2. Implantação de laboratório químico		
3. Cuidados no armazenamento		
4. Treinamento dos colaboradores		
5. Elaboração de PO (Procedimentos Operacionais)		

Fonte: Autora (2022).

É necessário que a “lavanderia Y” adquira os produtos químicos de empresas licenciadas e com o controle de qualidade esperado, evitando dessa forma a inserção de produtos químicos desnecessários ao processo produtivo e que possa agravar ainda mais o funcionamento das máquinas bem como os impactos negativos ao meio ambiente.

Para certifica-se ainda mais sobre a procedência da matéria-prima utilizada, o ideal seria a implementação de um laboratório químico, laboratório esse que serviria tanto para fazer o controle dos produtos recebidos como para a análise do efluente antes e depois da ETE, bem como a análise do lodo têxtil gerado. Essas medidas demandam o treinamento dos colaboradores com o objetivo de aprenderem a realizar testes e procedimentos operacionais que colaborem com o adequado uso e aplicação dos produtos utilizados.

5.5.2. Substituição de Produtos Químicos

Diante de alguns dos problemas mencionados como a alta quantidade de manganês nos efluentes brutos e tratados e também sobre o mau cheiro exalado dos processos empregados na “empresa Y”, é necessário encontrar alternativas possíveis e viáveis (Quadro 8) de produtos químicos ou meios que impactem de maneira positiva toda a produção.

Quadro 8: Substituição de produtos químicos

Práticas Corretas	Benefícios
1. Substituir os corantes que apresentem metal em sua estrutura	1. Sendo implantado o tratamento biológico na ausência de metais pesados será bem mais eficiente;
2. Usar corantes líquidos ao invés do em pó	2. Redução da DQO (Demanda Química de Oxigênio) do efluente;
3. Substituir corantes sulfurados por ecológicos	3. Diminuição do teor de enxofre na lavagem, evitando a formação de gás sulfídrico;
4. Utilizar corantes com nível de fixação maior	4. Aumento do rendimento do corante e menor custo de tratamento;
5. Substituição do Permanganato de Potássio por oxidantes alternativos	5. Redução do uso de água, a depender do processo alternativo de oxidação e diminuição de produtos químicos.

Fonte: Autora (2022).

A substituição de corantes que contenham metal por outros corantes que não contenham metais ou até mesmo a utilização de corantes naturais é uma das alternativas que vem sendo estudada por pesquisadores em todo o mundo. Trazendo um pouco para a realidade do próprio agreste pernambucano, Fernandes e Felix (2022) desenvolveram experimentos de confecção de corantes naturais através do uso de açafraão, hibisco e café.

Os resultados foram considerados satisfatórios, devido à fácil aquisição e manejo dos produtos naturais escolhidos e os resíduos gerados são menos impactantes. No entanto, o processo requer mais tempo de aplicação e secagem, sendo ainda inviável em larga escala. Apesar disso, projetos como esse conscientizam as pessoas de que existem alternativas que comprometem menos o meio ambiente e que podem agregar valor à peça pelo seu caráter sustentável.

É importante salientar que essas substituições são importantes na diminuição da alta toxicidade que corantes com a presença de enxofre, cobre e cromo, por exemplo, geram aos organismos aquáticos.

O uso dos corantes líquidos ao invés do em pó irá requerer uma quantidade bem menor de dispersante, isso porque durante o processo de produção do corante em pó, as partículas durante a moagem são protegidas no processo de secagem e isto se torna possível com a adição de maiores quantidades de dispersantes. Esses dispersantes resultam especialmente da condensação de produtos tipo naftaleno formaldeídos sulfonados e lignina sulfonato, em que além dos problemas gerados ao homem, são

classificados como tóxicos para o ambiente aquático. Dessa maneira, o uso de corantes líquidos proporciona um menor custo de tratamento para o efluente a ser tratado.

A redução do teor de enxofre dos processos nas lavanderias pode ser alcançada com a substituição dos corantes sulfurados pelos ecológicos, pois isso evitaria a formação do gás sulfídrico, que é tóxico para o ser humano, possui odor desagradável e pode provocar corrosões nas tubulações.

Em relação a utilização do permanganato de potássio, a utilização de oxidantes alternativos, como ozônio, peróxido de hidrogênio e tecnologias como utilização a laser, poderiam ser a solução mais viável. A utilização da ozonização reduz o consumo de água em 65% e diminuição de 85% dos produtos químicos, já o uso de laser permite o processamento totalmente a seco.

5.5.3. Resíduos Sólidos Gerados

A principal orientação aplicada nas medidas de P+L para os resíduos é buscar sempre aplicar os denominados “3Rs”. O “Reduzir” significa comprar menos e jogar menos fora (THOMPSON, 2017), na realidade da “lavanderia Y” seria a redução dos resíduos nos processos produtivos e operações auxiliares. “Reutilizar” é a ação ou prática de usar o material aplicável novamente (HUANG et al., 2018), ou seja, aproveitá-los sem qualquer tratamento. “Reciclar” envolve a recuperação da matéria-prima em novo produto por meio de processos físicos ou químicos (USAPEIN e CHAVALPARIT, 2015), seja para a utilização dentro do processo produtivo ou fora dele.

Muitos estudos têm discutido os princípios “3R” que servem de base para a gestão de resíduos têxteis (JACOMETTI, 2019). Para o reduzir e o reutilizar, o primeiro passo deve ser esgotar as possibilidades de aproveitamento interno, ou seja, para as próprias atividades da unidade produtiva e apenas depois, buscar soluções de aproveitamento em outros locais. Os resíduos que não se enquadrarem nessa possibilidade, devem ser separados, coletados e destinados adequadamente, conforme as normas técnicas e legislações pertinentes. No quadro 9, estão identificadas medidas de P+L para a redução e reutilização dos resíduos na “empresa Y”.

Quadro 9: Redução e reutilização de resíduos

Práticas Corretas	Benefícios Ambientais	Benefícios Econômicos
1. Promover o consumo racional e o desperdício de material	1. Diminuição do resíduo final;	1. Redução de consumo de insumos e de gastos com destinação de resíduos;
2. Reutilização de resíduos da ETE (Lodo)	2. Redução do consumo de recursos naturais.	2. Redução de gastos com destinação desses resíduos para aterros.

Fonte: Autora (2022).

Para que os resíduos sejam aproveitados, o ideal é inicialmente conhecer os procedimentos da NBR 10004:2004 – Classificação dos resíduos sólidos, para classificar os resíduos como “perigosos” e “não perigosos”. Após essa análise, os principais resíduos que pôde ser encontrado na “Lavanderia Y” diz respeito aos plásticos, metal ou madeira provenientes das embalagens que chega na empresa, cartuchos de impressoras, resíduo de equipamentos eletroeletrônico e aqueles resíduos parecidos com os urbanos, como restos de comidas.

Nesses casos, é importante o investimento em conscientização e mudança de hábitos através da redução do consumo de recursos naturais e a contribuição para minimizar a destinação final de lixo. Com pequenas atitudes como essas, contribuiria também para a redução de gastos com destinação de resíduos.

Em relação ao lodo têxtil gerado, através de estudos mais aprofundados, os mesmos poderiam ser utilizados como combustível em caldeiras de biomassa ou até mesmo como matéria-prima para produção da indústria de cerâmica vermelha. No estudo realizado por Hereck et al. (2009), foi constatado que é possível incorporar 20% do resíduo de ETE na incorporação da argila na fabricação de tijolos de vedação, não afetando as características mecânicas e ambientais dos tijolos. Dessa forma, a “lavanderia Y” pode comercializar seu resíduo sólido da estação de tratamento enviando para olarias e fabricantes de cimento, blocos de cimento ou de tijolos, para sua inertização diminuindo os gastos de envio para aterro industrial.

5.5.4. Redução da Geração de Poluentes Atmosféricos

As ações produtivas do setor têxtil de Pernambuco têm provocado impactos negativos que muitas vezes não são levados em consideração para as análises de gestão ambiental, como a poluição atmosférica, que é gerado devido à falta de controle de emissão atmosférica ou até mesmo a inserção de medidas de controle que possam controlar essas emissões na atmosfera das cidades.

Dessa forma, foi necessário elaborar medidas de P+L visando a redução da geração de poluentes atmosféricos pela “empresa Y”, conforme apresentado no quadro 10 a seguir:

Quadro 10: Medidas de redução na geração de poluentes atmosféricos

Práticas Corretas	Benefícios Ambientais
1. Manutenção das Caldeiras	1. Redução de poluentes gasosos; 2. Diminuição das divergências junto a comunidade; 3. Facilidade na renovação da Licença de Operação (LO);
2. Controle das emissões atmosféricas	
3. Realização de monitoramento das chaminés	
4. Implantação de medidas de controle	

Fonte: Autora (2022).

Como já mencionado, a “lavanderia Y” utiliza lenhas para as suas caldeiras e de acordo com Lima (2016), as lavanderias que utilizam lenhas nas caldeiras, geram resíduos atmosféricos e tóxicos durante seu processo produtivo, comprometendo o meio ambiente de forma significativa.

Na pesquisa realizada por Ribeiro (2016), um dos objetivos era verificar o impacto ambiental negativo das lavanderias do Agreste Pernambucano, ele analisou uma empresa de pequeno porte no município de Caruaru e concluiu que a lavanderia tinha dificuldade de tratar as questões relacionadas a poluição atmosférica, resultante das caldeiras sem filtros.

Logo, a realização periódica de manutenção nas caldeiras e o controle das emissões atmosféricas contribuem para o funcionamento adequado do sistema e auxiliam na otimização da combustão, o que diminui a emissão de poluentes e facilita o atendimento as condicionantes ambientais expressas nas Licenças de Operação. Em todo o caso, faz-se

necessário a instalação de filtros nas chaminés das caldeiras, para a liberação de um ar mais puro na comunidade.

Um outro ponto que vale a pena ser observado é sobre a inserção do lodo proveniente da “ ETE Y” como produto energético na caldeira da lavanderia estudada, sendo um substituto das madeiras e como alternativa para uso e geração de vapor de maneira sustentável. Para tanto, é necessário entrar em contato com a CPRH para entender se é possível viabilizar a ideia e o que é necessário ser feito para implantar essa prática, sendo essa sugestão para desenvolvimento de um trabalho futuro.

6. CONCLUSÃO

- Através do estudo realizado foi possível entender as etapas presentes no processo de beneficiamento de peças de roupas e compreender os diferentes momentos de uso dos mais variados produtos químicos;
- Sobre a estação de tratamento de efluente compacta que a “lavanderia Y” possui em suas dependências, foi essencial a caracterização das diferentes operações e seus equipamentos envolvidos no processo de tratamento do efluente, pois é a partir de um claro entendimento dessas operações que se torna possível realizar intervenções de melhoria do processo e assim melhorar efetivamente a qualidade do efluente entregue ou lançado no rio Ipojuca;
- A avaliação da eficiência da ETE foi possível através da análise de efluentes, com o objetivo de atingir o percentual mínimo de remoção exigido pelos órgãos ambientais. Dessa maneira, foi possível perceber que 87,5% dos compostos químicos analisados atingiram a eficiência esperada, no entanto 12,5%, que compreende o elemento químico manganês, estava acima do nível que a Resolução CONAMA 430/11 estabelece, sendo necessário diminuir a utilização desse composto ou inserir outros produtos que possam realizar o mesmo efeito;
- Através dessas observações e análises, foram implantados indicadores ambientais, de acordo com o que foi encontrado e também com as necessidades relatadas pelos próprios funcionários da “lavanderia Y”, sendo baseado no modelo de gestão conhecido como produção mais limpa (P+L);
- Uma das soluções encontradas, que elevará a competitividade do arranjo produtivo local com diminuição nos gastos, com capacitação e custos é promover a troca de resíduos entre indústrias de diferentes segmentos e assim diminuir os resíduos entre elas, como por exemplo, o uso de resíduo de madeira pelas caldeiras das lavanderias e também o uso do lodo das lavanderias pelas indústrias de cerâmica e cimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO - ABIT. **Perfil do Setor**. 2018. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em 14 dez. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO - ABIT. **Relatório Análise de dados conjunturais da cadeia têxtil e confecção ano 2019**. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/dados-economia>>. Acesso em: 13 de dez. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. **ABNT NBR 9898**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987, 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004.

AFANGA, H., ZAZOU, H., TITCHOU, F.E. et al. **Integrated electrochemical processes for textile industry wastewater treatment: system performances and sludge settling characteristics**. Sustain Environ Res 30, 2 (2020). <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0043-2>.

AGRESTE TEX. **Conheça o mercado de confecções do agreste pernambucano** – Agrestetex.com.br. Disponível em: <<https://agrestetex.com.br/conheca-o-mercado-de-confecoes-do-agreste-pernambucano/>>. Acesso em: 25 out. 2022.

AHSAN, M. A., SATTER, F., SIDDIQUE, M., AKBOR, M. A., AHMED, S., SHAJAHAN, M., KHAN, R. (2019). **Chemical and physicochemical characterization of effluents from the tanning and textile industries in Bangladesh with multivariate statistical approach**. Environmental monitoring and assessment. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7654-2>.

AKHTAR, M. F., ASHRAF, M., JAVEED, A., ANJUM, A. A., SHARIF, A., SALEEM, M., MUSTAFA, G., ASHRAF, M., SALEEM, A., AKHTAR, B. (2018). **Association of textile industry effluent with mutagenicity and its toxic health implications upon acute and sub-chronic exposure**. Environmental monitoring and assessment, 190(3), 179. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6569-7>.

AKTARUZZAMAN, M., CHOWDHURY, M. A. Z., FARDOUS, Z., ALAM, M. K., HOSSAIN, M. S., FAKHRUDDIN, A. N. M. (2014). **Ecological risk posed by heavy metals contamination of ship breaking yards in Bangladesh**. International Journal of Environmental Research, 8(2), 469–478.

ALVES, Carlos Lima. **Estimativa de geração de lodo e água descartada nas operações de limpeza da estação de tratamento de água da Vila Residencial da Eletronorte–UHE Tucuruí**. 70p. TCC (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade

Federal Pará, Campus Universitário Tucuruí – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Tucuruí, Pará, 2019.

ANANDAN, S., PONNUSAMY, V.K., ASHOKKUMAR, M. **A review on hybrid techniques for the degradation of organic pollutants in aqueous environment.** *Ultrason Sonochem.* 67 (2020).

APAYDIN, F. G., BAŞ, H., KALENDER, S., KALENDER, Y. (2016). **Subacute effects of low dose lead nitrate and mercury chloride exposure on kidney of rats.** *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 41, 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.12.003>.

AYED, L., BAKIR, K., BEN MANSOUR, H., HAMMAMI, S., CHEREF, A., BAKHROUF, A. (2017). **In vitro mutagenicity, NMR metabolite characterization of azo and triphenylmethanes dyes by adherents bacteria and the role of the “cna” adhesion gene in activated sludge.** *Microbial Pathogenesis*, 103, 29–39.

AYED, L., KSIBI, I.E., CHAREF, A. MZOUGH, R. E. (2020): **Hybrid coagulation-flocculation and anaerobic-aerobic biological treatment for industrial textile wastewater: pilot case study**, *The Journal of The Textile Institute*.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos.** 376p., Ed. Saraiva, São Paulo – SP, 2011.

BHATIA D, SHARMA NR, SINGH J, KANWAR RS (2017) **Biological methods for textile dye removal from wastewater: a review.** *Crit Rev Environ Sci Technol*.

BHATIA, D., SHARMA, N.R., KANWAR, R. et al. **Physicochemical assessment of industrial textile effluents of Punjab (India).** *Appl Water Sci.* (2018). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0728-4>.

BIDU, J. M., VAN DER BRUGGEN, B., RWIZA, M. J., NJAU, K. N. (2021). **Current status of textile wastewater management practices and effluent characteristics in Tanzania.** *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 83(10), 2363–2376. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.133>.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.html> . Acesso em: 20 dez. 2021.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 1413, de 14 de agosto de 1975.** Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. Brasília, DF: Presidência da República, [1975]. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1970-1979/decreto-lei-1413-14-agosto-1975-378171-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso em: 20 dez. 2021.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Brasília, DF: Presidência da República, [1981] Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm> Acesso em: 20 dez. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. De 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em: 20 dez. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.. Brasília, DF: Presidência da República, [1998] Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm> Acesso em: 20 dez. 2021.

CARUARU - Prefeitura Municipal de Caruaru. **Lei complementar nº 5.058, de 25 de novembro de 2010**. Dispõe sobre o licenciamento, as infrações ambientais, no Município de Caruaru e dá outras providências. Caruaru, PE: Poder Executivo [2010]. Disponível em <http://caruaru.alfaconsultoria.digital/wp-content/uploads/2018/04/URB_-_LEI_5058_-_CONSOLIDADA_2011-1-1.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2021.

CARVALHO, C. F. **Efeitos neuropsicológicos da exposição do manganês em crianças**. 2013. 128f. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

CECI, Mariana. Tribuna do Norte. **Com incentivos, indústria têxtil se consolida no nordeste**. 2018. Disponível em <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/com-incentivos-indaustria-ta-xtil-se-consolida-no-nordeste/404095>> Acesso em: 09 de dez. 2021.

CHEN, L., WANG, L., WU, X., DING, X. (2017). **A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry**. Journal of cleaner production, 143:1137–1143.

CHUNG, KT (2016). **Azo dyes and human health: a review**. J Environ Sci Health Part C 34(4):233–261.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade**. 2017.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986**. Estabelece a classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicada no D.O.F. em 30 de julho de 1986. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>> Acesso em: 20 dez. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Revoga a Resolução nº 020, de 18 de jun. de 1986. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no D.O.F, n. 53, 18 mar. 2005. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicada no D.O.F, n. 92, 16 de mai. de 2011, p. 89. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. **Norma CPRH N.2001**: Controle de carga orgânica de efluentes líquidos industriais. Pernambuco: CPRH, 2003. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/Normas_Tecnicas/41173%3B35493%3B1419%3B0%3B0.asp> Acesso em: 20 dez. 2021.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. **Norma CPRH N.2003**: Autocontrole de efluentes líquidos industriais. Pernambuco: CPRH, 2003. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/Normas_Tecnicas/41173%3B35493%3B1419%3B0%3B0.asp> Acesso em: 20 dez. 2021.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. **Norma CPRH N.2004**: Medição de vazão de efluentes líquidos – escoamento livre. Pernambuco: CPRH, 2003. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/Normas_Tecnicas/41173%3B35493%3B1419%3B0%3B0.asp> Acesso em: 20 dez. 2021.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. **Norma CPRH N.2005**: Instruções para apresentação de Projeto de sistema de tratamento de efluentes líquidos. Pernambuco: CPRH, 2003. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/Normas_Tecnicas/41173%3B35493%3B1419%3B0%3B0.asp> Acesso em: 20 dez. 2021.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. **Norma CPRH N.2006**: Parâmetros de monitoramento por tipologia industrial. Pernambuco: CPRH, 2003. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/Normas_Tecnicas/41173%3B35493%3B1419%3B0%3B0.asp> Acesso em: 20 dez. 2021.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. **Norma CPRH N.2007**: Coliformes Fecais – padrão de lançamento de efluentes domésticos e/ou industriais. Pernambuco: CPRH, 2003. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/Normas_Tecnicas/41173%3B35493%3B1419%3B0%3B0.asp> Acesso em: 20 dez. 2021.

DADI D, STELLMACHER T, SENBETA F, VAN PASSEL S, AZADI H (2017) **Environmental and health impacts of efuents from textile industries in Ethiopia: the case of Gelan and Dukem**, Oromia Regional State.

DHANDOLE, L.K., KIM, S.G., BAE, H.S., RYU, H.I., CHUNG H.S., SEO, Y.S., CHOA, M., SHEA, P.J., JANG, J.S. **Simultaneous and synergistic effect of heavy metal adsorption**

on the enhanced photocatalytic performance of a visible-light-driven. RS-TONR/ TNT composite, Environ. Res. 180 (2020), 108651, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108651>.

FAVARETTO, D. P. C. **Avaliação da eficiência do processo de tratamento de efluentes na empresa de laticínios.** LBR. 2011. Tese (Doutorado). Passo Fundo: Universidade Passo Fundo, 2011.

FERNANDES, F. L. A.; FELIX, T. S. (2022). **Experimentação com corantes naturais: uma alternativa sustentável para a indústria têxtil de Caruaru.**

FERREIRA, I. L. S. **Tingimento de tecido de algodão com corantes reativos utilizando água do mar.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil, Natal, 2019.

FUJIMORI, S., HANASAKI, N., MASUI, T., 2017. **Projections of industrial water withdrawal under shared socioeconomic pathways and climate mitigation scenarios.** Sustain. Sci. 12 (2), 275e292.

GADEKAR, M.R., AHAMMED, M.M. **Use of water treatment residuals for colour removal from real textile dye wastewater.** Appl Water Sci 10, 160 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01245-9>.

HAJI, A., SHOUSHARI, A. S. (2019). **Grafting of poly (propylene imine) dendrimer on polypropylene nonwoven: Preparation optimization, characterization, and application.** Fibers and Polymers, 20(5), 913–921. doi:10.1007/s12221-019-1123-y.

HEREK, L. C. S., SILVA JUNIOR, A. T., PAVEZZI, C. C., BERGAMASCO, R., TAVARES, C. R. G. (2009). **Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos.** Cerâmica, 55, 326-331.

HERNÁNDEZ-PADILLA, F., MARGNI, M., NOYOLA, A., GUERECIA-HERNANDEZ, L., BULLE, C., 2017. **Assessing wastewater treatment in Latin America and the Caribbean: Enhancing life cycle assessment interpretation by regionalization and impact assessment sensibility.** J. Clean. Prod. 142, 2140–2153. doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.068.

HUANG, B.J., WANG, X.Y., KUA, H.W., GENG, Y., BLEISCHWITZ, R., 2018. **Construction and demolition waste management in China through the 3R principle.** Resour. Conserv. Recycl, 129, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>.

HUSSIEN, W. e. A. MEMON, F. A. SAVIC, D. A., 2017. **An integrated model to evaluate waterenergy-food nexus at a household scale.** Environ. Model. Softw., 93. pp. 366-380. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.034>.

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco. **Arranjos Produtivos Locais.** Disponível em: <<http://www.itep.br/arranjos-produtivos-locais>>. Acesso em: 28 dez. 2021.

IWAKI, G. **Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs**. Tratamento de Água. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-et-es/>>. Acesso em: 29 dez. 2021.

JACOMETTI, V., 2019. **Circular economy and waste in the fashion industry**. *Laws*, 8, 27. <http://doi.org/10.3390/laws8040027>.

KHAN, R., DAS, S., KABIR, S., HABIB, M. A., NAHER, K., ISLAM, M. A., TAMIM, U., RAHMAN, A. K. M. R., DEB, A. K., HOSSAIN, S. M. (2019). **Evaluation of the elemental distribution in soil samples collected from ship-breaking areas and an adjacent island**. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 7(3), 103189. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103189>.

KHATRI, A., PEERZADA, MH., MOHSIN, M., White, M. (2015). **A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution**. *J Clean Prod* 87:50–57.

KHATTAB, T. A., ABDELRAHMAN, M. S., REHAN, M. (2020). **Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation**. *Environmental science and pollution research international*.

KIM, M.-S. SARKAR, B. (2017). **Multi-stage cleaner production process with quality improvement and lead time dependent ordering cost**. *Journal of Cleaner Production*, 144:572–590.

KOROGLU, E., YORUKLU, H., DEMIR, A., OZKAYA, B. **Scale-up and commercialization issues of the MFCs: challenges and implications**. In: Mohan SV, Varjani S, Pandey A, editors. *Microbial electrochemical technology*. Amsterdam: Elsevier; 2019. p. 565–83.

KOS, L. **Effect of Using Coagulants on Sedimentation Sludge Properties and Quality of Textile Wastewater**. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2017; 25, 1(121): 126-130. DOI: 10.5604/12303666.1227893.

KUMAR, A., MAITI, S. K. (2015). **Assessment of potentially toxic heavy metal contamination in agricultural fields, sediment, and water from an abandoned chromite-asbestos mine waste of Roro hill, Chaibasa, India**. *Environmental Earth Sciences*, 74, 2617–2633.

KUMAR, P., Saravanan, A. **Sustainable wastewater treatments in textile sector**. In: Muthu SS, editor. *Sustainable fibres and textiles*. Duxford: Woodhead Publishing; 2017. p. 323–46.

LATIF, H. H. GOPALAKRISHNAN, B. NIMBARTE, A. CURRIE, K., 2017. **Sustainability index development for manufacturing industry**. *Sustain. Energy Technol. Assessments*, 24. pp. 82-95.

LIMA, L. R. de; SAMPAIO, Y. de S. B.; FREITAS, M. A. L. de; LAGIOLA, U. C. T. **Um estudo inferencial dos custos ambientais e das estações de tratamento de água nas lavanderias do Polo de confecções do Agreste de Pernambuco**. Rio de Janeiro. Revista Sociedade, Contabilidade e Gestão, v. 11, n. 3, 2016.

LIU, Y., RAN, C., SIYAL, A.A., SONG, Y., JIANG, Z., DAI, J., CHTAEVA, P., FU, J., AO, W., DENG, Z., ZHANG, T., 2020. **Comparative study for fluidized bed pyrolysis of textile dyeing sludge and municipal sewage sludge**.

LUIZ, Sanara; VALENTIM, Anamélia Fontana. **Lavanderia em jeans e a sustentabilidade em moda: comparativo entre processos tradicionais e ecológicos**. *Projetica*, v. 12, n. 1, p. 297-326.

MARQUES, F. **Legislação para tratamento de efluentes: o que você precisa saber?** ACQUASOLUTION, 2017.

MENEGON, Elizangela Maria Pas; POLI, Odilon Luiz; MAZZIONI, Sady. **Inovação na indústria do segmento têxtil: um estudo sobre o perfil da produção científica nacional e internacional/Innovation in the textile industry: a study on the profile of national and international scientific production**. *Brazilian Journal of Development*, v. 4, n. 4, p. 1093-1115, 2018.

MOGA, I. C., ARDELEAN, I., PETRESCU, G., CRACIUN, N., POPA, R. (2018). **The potential of biofilms from moving bed bioreactors to increase the efficiency of textile industry wastewater treatment**. *Industria Textila*, 69, 412–418.

MOR, S., CHHAVI, M. K., SUSHIL, K. K., et al. (2018). **Assessment of hydrothermally modified fly ash for the treatment of methylene blue dye in the textile industry wastewater**. *Environment, Development and Sustainability*, 20, 625–639.

MOURA, L. S. d., SILVA, C. L., REIS, A. C. d. S., MARINHO, E. P., NÓBREGA, A. C. V. d., & Carneiro, A. M. P. (2021). **Caracterização de lodo produzido nas lavanderias têxteis da região Agreste de Pernambuco para uso em materiais de construção alternativos**. *Research, Society and Development*, 10(4).

MOUSAVI, S., SHAHRAKI, F., ALIABADI, M., HAJI, A., DEUBER, F., ADLHART, C. (2019). **Nanofiber immobilized CeO₂/dendrimer nanoparticles: An efficient photocatalyst in the visible and the UV**. *Applied Surface Science*, 479, 608–618.

MPPE. Ministério Público Estadual de Pernambuco. **Caruaru: lavanderias devem se adequar a legislação ambiental**. 2015. Disponível em: <<https://mppe.mp.br/mppe/index.php/comunicacao/noticias/ultimas-noticias-noticias/3595-caruaru-lavanderias-devem-se-adequar-a-legislacao-ambiental>> Acesso em: 21 dez. 2021.

MUNAGAPATI, VS; KIM, DS. **Adsorption of anionic azo dye Congo Red from water solution by Cationic Modified Orange Peel Powder**. *J. Mol. Liq.* 2016, 220, 540-548.

NELMS, Sarah E., GALLOWAY, Tamara S., GODLEY, Brendan J., JARVIS, Dan S., Lindeque, PENELOPE K., 2018. **Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators.** Environ. Pollut. 238, 999e1007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>.

OPHER, T., FRIEDLER, E., SHAPIRA, A., 2018. **Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales.** Int. J. Life Cycle Assess. 23, 1315–1330. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-018-1469-1>

OWUSU-AGYEMAN, I., PLAZA, E., CETECIOGLU, Z., 2020. **Production of volatile fatty acids through co-digestion of sewage sludge and external organic waste: Effect of substrate proportions and long-term operation.** Waste Manage. 112, 30–39.

OZTURK, E. CINPERI, N. C. (2018). **Water efficiency and wastewater reduction in an integrated woolen textile mill.** Journal of cleaner production, 201:686–696.

PAN, H., DEAL, B., 2019. **Reporting on the performance and usability of planning support systems towards a common understanding.** Appl. Spat. Anal. Policy 13, 137e159.

PAN, H., TIANREN, Y., JIN, Y., DALL'ERBA, S., HEWINGS, G., 2019. **Understanding heterogeneous spatial production externalities as a missing link between land-use planning and urban economic futures.** Reg. Stud. <https://doi.org/10.1080/00343404.2019.1701186>.

PEREIRA, Adriana Soares et al. **Metodologia da pesquisa científica.** 1a. ed. [e- book] Santa Maria, RS:UFSM, NTE, 2018.

PERNAMBUCO. **Lei nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Recife: Assembléia Legislativa de Pernambuco, [2005]. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&numero=12984&complemento=0&ano=2005&tipo=&url=>> Acesso em: 20 dez. 2021.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.249, de 17 de dezembro de 2010.** Dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e dá outras providências. Recife, PE: Governo do estado de Pernambuco, [2010a] Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Lei%20Est%2014249;141010;20101228.pdf> Acesso em: 20 dez. 2021.

PESSÔA, T. S. **Caracterização e aplicação de biocarvão obtido a partir do endocarpo do açaí para adsorção de corantes têxteis.** 2019. Dissertação (Mestrado) – Recife, PE: UFPE, 2019.

PORTAL G1. Caruaru e Região. **Mais de 37% das lavanderias de jeans encerram atividades em Caruaru, PE.** 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2015/09/mais-de-37-das-lavanderias-de-jeans-encerram-atividades-em-caruaru-pe.html>> Acesso em: 21 dez. 2021.

QUEIROGA, G. M.; MELO, D. C. P.; LAMARDO, E. Z. **Desempenho de etes de lavanderias têxteis do polo de confecções do município de Caruaru, Agreste pernambucano, que utilizam processos físico-químicos.** Revista Eletrônica do PRODEMA v. 13, n. 2, p.55-71. 2019.

RAMOS, Márcio Daniel Nicodemos et al. **Análise crítica das características de efluentes industriais do setor têxtil no Brasil.** Revista Virtual de Química, v. 12, n. 4, 2020.

RAN, C., LIU, Y., SIDDIQUI, A.R., SIYAL, A.A., MAO, X., KANG, Q., FU, J., AO, W., DAI, J., 2019. **Pyrolysis of textile dyeing sludge in fluidized bed and microwave-assisted auger X. Zhang et al. reactor: Comparison, migration and distribution of heavy metals.** Energy. 182, 337–348.

RIBEIRO, W. B. A. **Estudo de caso sobre o impacto ambiental causado por uma lavanderia de jeans na cidade de Caruaru-PE.** 2016, Monografia (Cursos de Geografia). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2016.

RODRIGUES, F. N., AMÂNCIO, D. V., RIBEIRO, K. D., FIA, R., COELHO, G. (2018). **Avaliação da eficiência do leito de secagem no processo de desidratação de lodo gerado nos decantadores da estação de tratamento de água.** Sustentare, 2(2), 183-196.

ROY, D. C., BISWAS, S. K., SAHA, A. K., SIKDAR, B., RAHMAN, M., ROY, A. K., TANG, S.-S. (2018). **Prodhnan biodegradation of crystal violet dye by bacteria isolated from textile industry effluents.** Doi:10.7717/peerj.5015

ROY, U., SENGUPTA, S., BANERJEE, P., DAS, P., BHOWAL, A., DATTA, S. (2018). **Assessment on the decolourization of textile dye (reactive yellow) using Pseudomonas sp. immobilized on fly ash: Response surface methodology optimization and toxicity evaluation.** Journal of Environmental Management, 223, 185–195.

ROY, M., SEN, P., PAL, P. (2020). **An integrated green management model to improve environmental performance of textile industry towards sustainability.** Journal of Cleaner Production, 271, 122656.

SANTORO, A., HELD, A., LINSINGER, T.P.J., PEREZ, A., RICCI, M., 2017. **Comparison of total and aqua regia extractability of heavy metals in sewage sludge: The case study of a certified reference material.** TrAC Trend. Anal. Chem. 89, 34–40.

SANTOS, T.R., MATEUS, G.A., SILVA, M.F., MIYASHIRO, C.S., NISHI, L., ANDRADE, M.B., FAGUNDES-KLEN, M.R., GOMES, R.G., BERGAMASCO, R. (2018). **Evaluation of Magnetic Coagulant (α -Fe₂O₃-MO) and its Reuse in Textile Wastewater Treatment.** Water, Air, & Soil Pollution, 229, 1-17.

SAXENA, S.; RAJA, A. S. M.; ARPUTHARAJ, A. **Textiles and Clothing Sustainability 2017.**

SCHYMANSKI, D., GOLDBECK, C., ULRICH H., HANS, F., 2018. **Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water.** *Water Res.* 129, 154e162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>.

SCHOLZ M. YASEEN D. A. 2018. **Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review.** *International Journal of Environmental Science and Technology* 16, 1193 – 1226. doi:10.1007/s13762-018-2130-z.

SIDDIQUE, K.; RIZWAN, M.; SHAHID, M. J.; ALI, S.; AHMAD, R.; RIZVI, H. **Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants.** Anjum, N. A.; Gill, S. S.; Tuteja, N., eds.; Springer: Switzerland, 2017.

POROBIC, B.D. BOZIC, M.D. DRAMICANIN, V. VITNIK, Z. VITNIK, M.M. CINCOVIC, D. Z. MIJIN, **Absorption and fluorescence spectral properties of azo dyes based on 3-amido-6-hydroxy-4-methyl-2-pyridone: solvent and substituent effects.** *Dyes Pigm.* 175 (2020).

TEOH, S.K., Li, L.Y., 2020. **Feasibility of alternative sewage sludge treatment methods from a lifecycle assessment (LCA) perspective.** *J. Clean. Prod.* 247, 119495.

TAYYAB, M., JEMAI J., LIM, 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* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119055>.

THOMPSON, N., 2017. **Textile Waste & The 3R's: Textile waste strategy recommendations for City of Toronto.** Master's degree, York University, Toronto, Canada.

USAPEIN, P., CHAVALPARIT, O., 2015. **Evaluating the performance of 3R options to reduce landfill wastes and using the 3R indicator (3RI): case study of polyethylene factories.** *Journal Pre-proof in Thailand. J Mater Cycles Waste Manag*, 17, 303-315. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0336-9>.

WANG, J., LIU, G., LIU, H., e LAM, P. K. S. (2017). **Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China.** *Science of the Total Environment*, 583, 421– 431.

YOUSEF, S., TATARIANTS, M., TICHONOVAS, M., SARWAR, Z., JONUŠKIENĖ, I., KLIUCININKAS, L., 2019. **A new strategy for using textile waste as a sustainable source of recovered cotton.** *Resour. Conserv. Recycl.* 145, 359–369. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.02.031>.

YUAN, J., ZHANG, W., XIAO, Z., ZHOU, X., ZENG, Q., 2020. **Efficient dewatering and heavymetal removal in municipal sewage using oxidants.** *Chem. Eng. J.* 388, 124298.

ZEPON, R.R., AZAPAGIC, A., 2018. **Life cycle environmental impacts of advanced wastewater treatment techniques for removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs)**. *J. Environ. Manage.* 215, 258–272. doi:10.1016/j.jenvman.2018.03.047. CSE India 2019, CSE

ZOU, H., NING, X.-a., WANG, Y., ZHOU, F., 2019. **The agricultural use potential of the detoxified textile dyeing sludge by integrated Ultrasound/Fenton-like process: A comparative study**. *Ecotox Environ. Safe.* 172, 26–32.

APÊNDICE B: OBJETIVOS E METAS AMBIENTAIS

LOGOTIPO	Objetivos e Metas Ambientais		Pág. 01
Processo	Objetivo	Meta	Responsável
Desengomagem	Reduzir o uso de água de boa qualidade para a desengomagem melhorando a qualidade da água para reúso	Associar a desengomagem quando possível a outro processo para economia de água	
Descoloração jeans Used Cristal (azul claro)	Diminuir o uso de substâncias tóxicas que provoquem no efluente e substâncias que prejudiquem o seu reúso	Substituir as substâncias químicas que dificultem a reúso da água ao processo	
Estonagem	Reduzir o uso de água de boa qualidade para a estonagem melhorando a qualidade da água para reúso	Associar a estonagem a outros processos para diminuir a quantidade água utilizada	
Tratamento de efluente	Melhorar a qualidade do efluente final para reúso no processamento têxtil	Implantar e implementar sistema de tratamento secundário e complementares	
Controle de insumos	Melhorar a qualidade do efluente final, diminuindo o uso de substâncias potencialmente tóxicas e que levem grande carga orgânica ao efluente.	Implantar e implementar ações para alcançar uma produção mais limpa	
Laboratório de análises químicas	Monitorar de forma constante os insumos utilizados e efluentes gerados no processamento da lavanderia	Diminuir a quantidade de produtos químicos utilizados para tratamento do efluente e processos	