



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

GABRIELLA BEATRIZ CABALLERO PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTE EM INDÚSTRIA TÊXTIL NO RIO GRANDE DO NORTE**

NATAL  
2022

GABRIELLA BEATRIZ CABALLERO PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES EM INDÚSTRIA TÊXTIL NO RIO GRANDE DO NORTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito obrigatório à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Oliveira Nunes.

Natal  
2022

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Pereira, Gabriella Beatriz Caballero.

Avaliação do ciclo de vida do processo de tratamento de efluente em indústria têxtil no Rio Grande do Norte / Gabriella Beatriz Caballero Pereira. - 2022.

43 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Química. Natal, RN, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Oliveira Nunes.

1. Indústria Têxtil - Monografia. 2. Avaliação do ciclo de vida - Monografia. 3. Estação de tratamento de efluente - Monografia. I. Nunes, Andréa Oliveira. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 677

GABRIELLA BEATRIZ CABALLERO PEREIRA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES EM INDÚSTRIA TÊXTIL NO RIO GRANDE DO NORTE

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Química, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovada em: 12/12/2022

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. ou Profa. Dra. Andréa Oliveira Nunes

Orientadora

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

---

Prof. ou Profa. Dra. Katherine Carrilho de Oliveira Deus

Membro interno

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

---

Eng. Quím. Maria Eduarda Kuster Nogueira dos Santos

Membro externo

Guararapes Confecções

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Inês e William, que sempre me ensinaram sobre a importância da educação e a nunca deixar de lutar pelo que acredito. Tudo que sou hoje, eles que proporcionaram.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Inês e William, que são meus maiores exemplos, meus maiores incentivadores, que me ensinaram sobre a vida formando a mulher que sou hoje. Tudo é por e para vocês.

À minha orientadora, professora Dra. Andrea, que me apresentou esse ramo da sustentabilidade que tanto me identifico e que trabalhamos ao longo de três anos estudando a Avaliação do Ciclo de Vida. Prof, obrigada por toda a paciência, compreensão e todo o ensinamento transmitido dentro e fora de sala de aula.

Ao Fabinho que além de me ensinar muito durante a iniciação científica, me disponibilizou o software para realizar esse trabalho. Muito obrigada por toda a troca de conhecimento, que profissional incrível você é.

À Duda que além de amiga é um grande exemplo profissional e também é colega de trabalho que me proporcionou fazer esse estudo dentro do setor em que é supervisora (minha amiga é incrível!!!). Não canso de o quanto você é genial, amiga.

Aos meus professores ao longo desses cinco anos e meio na Engenharia Química. Obrigada por fazerem meu olho brilhar por essa profissão que escolhi e amo.

Ao meu amô, Hugo, que segurou na minha mão, foi meu companheiro de estudos, me incentivou e teve toda a paciência do mundo durante esse período de fim de curso junto com uma rotina puxada no trabalho. Obrigada por ser tudo que é!

Às mulheres da minha vida que tanto me ensinam sobre ser mulher: voinha, irmã, mainha, tia, prima e Lu. Vocês são meu exemplo de força, disciplina, resiliência e coragem.

Às minhas meninas que a Engenharia Química me presenteou, Karen e Renata. Vocês foram meu maior suporte ao longo desses anos, dia a dia.

À minha turma 2017.2 que é zero unida, mas quando as coisas apertavam, a gente se ajudava.

Aos meus chefes no trabalho, Lia, Renato e Karol, por entender e contribuir para que esse trabalho saísse mesmo com a loucura da véspera da entrega de um projeto gigantesco como o que estamos trabalhando.

Às minhas entidades estudantis, CAEQ e Crea Jr, que foram essenciais na minha formação como profissional. Obrigada a cada um que passou por cada gestão em que fiz parte e que confiou no meu trabalho, é imensurável o tamanho do conhecimento adquirido e a minha gratidão pelos frutos que pude colher a partir disso.

Aos meus melhores amigos de infância, Vick e Vini, que vibram comigo em cada fase da vida, e que nessa não foi diferente. Obrigada pelos 12 (ou13?) anos de companheirismo.

Ao meu melhor amigo Esdras que parece que me conhece de outras vidas e é sempre tão parceiro. Obrigada amigo, você é um amigo.

Ao meu grupinho Rei Leão por serem tão presentes (mesmo quando não sou tanto), Ana Geysa, Bia, Dan, Esdras, Eunnyce, Jamille, João, Lidy, Robert e Yuri.

À UFRN por me oferecer um ensino de excelência, com toda a condição necessária para me tornar a profissional que sou.

“Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”

Antoine de Saint-Exupéry - Pequeno príncipe



## RESUMO

A indústria têxtil e de confecção é reconhecida por sua relevância mundial na economia. Da mesma forma, se mostra como uma das mais impactantes ao meio ambiente, visto que, a forma de consumo da moda tem um ciclo rápido e passageiro, em que novas tendências surgem a todo momento, principalmente influenciadas pela rapidez do mundo tecnológico em que está inserido. O impacto causado por essa indústria acontece em diferentes escalas de sua cadeia, não se restringindo apenas ao grande volume de descartes e lixo que gera e sendo marcante também na sua produção, em que processos como o beneficiamento de malhas, tecidos, aviamentos ou das próprias peças, a fim de agregar valor, demandam um alto consumo de água, corantes, pigmentos. Sendo assim, esses processos geram efluentes que para serem descartados, necessitam de tratamentos prévios tanto físico-químicos quanto biológicos. A Avaliação do Ciclo de Vida surge como uma ferramenta eficaz de gestão ambiental ao demonstrar quantitativamente os impactos ambientais de um processo ou produto. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é realizar a Avaliação do Ciclo de Vida do processo de tratamento do efluente de uma indústria têxtil localizada no estado do Rio Grande do Norte, a fim de determinar qual a principal fonte de impactos ambientais do processo. A unidade funcional escolhida foi de um metro cúbico de efluente bruto. A Avaliação do Ciclo de Vida foi realizada no software SimaPro 9.4, seguindo a norma ISO 14040. Nas categorias de mudança climática, eutrofização de água doce e marinha o maior impacto foi proveniente do floculante utilizado no processo, a poliacrilamida aniônica. Já o coagulante, o policloreto de alumínio, teve o pior desempenho ambiental entre os elementos do processo nas categorias de escassez de recursos minerais e toxicidade humana (câncer). O ácido sulfúrico utilizado para neutralizar o efluente bruto teve um maior impacto ambiental nas categorias de ecotoxicidade e toxicidade humana (não câncer). Por fim, os elementos com menos impacto nesse processo foram a resina catiônica e a energia, esse último sendo o menos impactante.

**Palavras chave: Avaliação do ciclo de vida; estação de tratamento de efluente; Indústria Têxtil.**

## ABSTRACT

The textile and apparel industry is recognized for its global relevance in the economy. In the same way, it also shows itself as one of the most impactful to the environment, since fashion consumption has a fast and fleeting cycle, in which new trends emerge all the time, mainly influenced by the speed of the technological world in which it is inserted. The impact caused by this industry happens in different scales of its chain, not only in the large volume of waste and garbage it generates, but also from its production, where processes such as the processing of knitwear, fabrics, trims, or the pieces themselves, in order to add value, require a high consumption of water, dyes, and pigments. Thus, these processes generate effluents that, to be discarded, need previous treatments, both physical-chemical and biological. Life Cycle Assessment has emerged as an effective environmental management tool by quantitatively demonstrating the environmental impacts of a process or product. In this context, the objective of this work is to perform the Life Cycle Assessment of the effluent treatment process of a textile industry located in the state of Rio Grande do Norte, in order to determine what is the main source of environmental impacts of the process. The functional unit chosen was one cubic meter of raw effluent. The Life Cycle Assessment was performed in the software SimaPro 9.4, following the ISO 14040 standard. In the categories of climate change, freshwater and marine eutrophication the greatest impact came from the flocculant used in the process, anionic polyacrylamide. The coagulant, aluminum polychloride, had the worst environmental performance among the process elements in the mineral resource scarcity and human toxicity (cancer) categories. The sulfuric acid used to neutralize the raw effluent had the highest environmental impact in the ecotoxicity and human toxicity (non-cancer) categories. Finally, the elements with the least impact on this process were cation resin and energy, the latter being the least impactful.

**Key words: Life Cycle Assessment; Effluent treatment plant; Textile Industry.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estrutura da cadeia produtiva têxtil e confecção.

Figura 2: Esquematização geral de uma estação de tratamento de efluente.

Figura 3: Estrutura da avaliação de ciclo de vida.

Figura 4: Elementos da AICV.

Figura 5: Fluxograma do processo.

Figura 6: Fronteira do sistema de tratamento de efluente para estudo.

Figura 7: Esquematização do processo.

Gráfico 1: Desempenho ambiental dos componentes do processo.

Gráfico 2: Impacto dos componentes considerando o desempenho total do processo.

Gráfico 3: Percentual dos impactos dos elementos com relação ao de maior impacto – o ácido sulfúrico.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Descrição dos principais setores da organização.

Tabela 2: Caracterização do efluente bruto.

Tabela 3: Dados do processo.

Tabela 4: Impactos ambientais dos elementos que compõem o processo de tratamento de efluente.

## LISTA DE SIGLAS

|                  |  |
|------------------|--|
| CONAMA           | Conselho Nacional do Meio Ambiente                                   |
| DIN              | Distrito Industrial de Natal   |
| ETE              | Estação de Tratamento de Efluente                                    |
| DBO              | Demanda Bioquímica de Oxigênio                                       |
| DQO              | Demanda Química de Oxigênio  |
| ACV              | Avaliação do Ciclo de Vida   |
| CONMETRO         | Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial |
| ABNT             | Associação Brasileira de Normas Técnicas                             |
| CAERN            | Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte                  |
| H <sub>2</sub> S | Sulfeto de hidrogênio  |
| PAC              | Policloreto de alumínio  |
| SO <sub>2</sub>  | Dióxido de enxofre   |
| SO <sub>3</sub>  | Trióxido de enxofre  |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                               | <b>15</b> |
| <b>1.1 Contextualização.....</b>                        | <b>15</b> |
| <b>1.2 Objetivos.....</b>                               | <b>17</b> |
| 1.2.1 Objetivos gerais.....                             | 17        |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....                        | 17        |
| <b>1.3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                     | <b>18</b> |
| <b>1.4 A indústria têxtil no Brasil.....</b>            | <b>18</b> |
| 2.1.1 A indústria da moda e o meio ambiente.....        | 18        |
| <b>1.5 Processos na indústria têxtil.....</b>           | <b>19</b> |
| 1.5.1 Beneficiamento têxtil e a lavanderia.....         | 20        |
| <b>1.6 Tratamento de efluente.....</b>                  | <b>21</b> |
| 1.6.1 Efluentes.....                                    | 21        |
| 1.6.2 Legislação ambiental.....                         | 21        |
| 1.6.3 Parâmetro para tratamento de efluente.....        | 22        |
| 1.6.4 O processo de uma estação de tratamento.....      | 23        |
| <b>1.7 A Avaliação do Ciclo de Vida.....</b>            | <b>26</b> |
| 1.7.1 Etapas da avaliação do ciclo de vida.....         | 26        |
| 2.4.1.1 Definição do objetivo e escopo.....             | 26        |
| 2.4.1.2 Análise de inventário (ICV).....                | 27        |
| 2.4.1.3 Avaliação do impacto (AIC).....                 | 27        |
| 2.4.1.4 Interpretação.....                              | 28        |
| <b>3. METODOLOGIA.....</b>                              | <b>29</b> |
| <b>3.1 Descrição da empresa.....</b>                    | <b>29</b> |
| <b>3.2 Descrição do setor do estudo de caso.....</b>    | <b>31</b> |
| <b>3.3 Caracterização do estudo de caso.....</b>        | <b>32</b> |
| <b>3.4 Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida.....</b> | <b>33</b> |
| 3.4.1 Objetivo e escopo.....                            | 34        |
| 3.4.2 Análise de inventário.....                        | 34        |
| 3.4.3 Análise do impacto.....                           | 35        |
| <b>4. RESULTADOS.....</b>                               | <b>36</b> |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>                                | <b>39</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                 | <b>40</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A primeira seção deste trabalho explicita a contextualização inicial acerca do tema abordado na presente pesquisa, sendo uma análise da Avaliação do Ciclo de Vida do processo de tratamento de efluente em uma indústria têxtil como ferramenta de gestão ambiental auxiliando em tomadas de decisão. Além disso, serão abordados o objetivo geral e os objetivos específicos.

### 1.1 Contextualização

A consciência ambiental tem se mostrado cada vez mais importante na conservação do nosso ecossistema como uma busca do equilíbrio entre homem, indústria e meio ambiente. Hoje se compreende que a atitude de cuidar do sistema deve acontecer não apenas individualmente, mas que as empresas têm uma responsabilidade significativa nessa postura ambiental. São necessárias ações coletivas, isso inclui a adoção de práticas de produção e consumo sustentáveis. Além disso, nesse cenário, as empresas começam a constatar que qualidade ambiental se torna uma grande preocupação para seus consumidores.

É nesse cenário da preocupação da indústria com o seu desempenho ambiental, não só pensando nos recursos naturais, mas também como uma oportunidade de crescimento diante do novo formato de consumo, que em 1965, nos Estados Unidos, a Coca-Cola realizou o primeiro estudo que pode ser entendido como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com o objetivo de identificar qual a embalagem para refrigerantes teria a menor taxa de emissão (IBICT, 2022).

A indústria da moda é a segunda mais poluente do mundo, ficando atrás apenas da indústria do petróleo. Em 1990, em um momento histórico em que a mão de obra e a matéria prima estavam mais acessíveis, o fast fashion surge no mundo da moda como uma nova forma de consumo em que as peças deixaram de demorar dias para serem confeccionadas e estão mais economicamente acessíveis. Trazendo esse consumo para os dias atuais, na pandemia da COVID-19, o e-commerce ganhou destaque no mercado facilitando a compra: sem sair de casa o consumidor pode comprar tudo que quiser e receber no conforto da sua casa e em poucas horas. Foi nesse contexto que, segundo dados do Relatório E-commerce no Brasil, desenvolvido

pela Conversion, a loja fast fashion Shein teve um crescimento de 522% (RODRIGUES *et al.*, 2021).

É com esse pensamento de um consumidor querer estar sempre atualizado com a moda e uma indústria que entrega rapidamente essa necessidade e de forma acessível, que o número de resíduos da linha de produção têxtil torna-se preocupante. Segundo Rodrigues *et al.* (2021), ao se falar sobre esse impacto, não deve-se relacionar apenas ao descarte dos resíduos, mas também a extração de matérias-primas, consumo de energia, água, a emissão de carbono.

Dentre os diversos processos de uma indústria têxtil, a última etapa, que se trata do beneficiamento, é a que mais traz valor àquele material. De acordo com Campolina (2022) (Apud SOUZA,2009) é nesse momento que é conferido ao material a cor desejada, determinado aspecto, o toque do material e outras características que estejam de acordo com o esperado pelo mercado. Dentro desse contexto, o setor têxtil, por seu grande parque industrial, é um dos grandes geradores de efluentes, visto que no beneficiamento têxtil em tinturaria e acabamento são gerados 50 a 100 litros de efluente por quilo de tecido produzido (ARSLAN-ALATON *et al.*, 2008). Os efluentes têxteis têm uma forte característica com relação a sua cor devido aos corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento (KUNZ *et al.*, 2002).

Devido a necessidade de ser mais sustentavelmente eficiente com relação a utilização de recursos e ao que gera de resíduos em um processo, aspectos como: a emissão de gases de efeitos estufa, uso de produtos químicos e sua pegada de carbono, destino do efluente, precisam fazer parte do escopo, estudo e cuidado de um processo de tratamento de efluente (METCALF; EDDY, 2013).

É nesse contexto que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se torna uma ferramenta eficaz de gestão ambiental. A ACV consiste em avaliar os impactos ambientais relacionados a um produto, processo ou serviço, desde a extração e processamento de matérias-primas até a sua disposição final, quantificando os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida em análise. Segundo a Norma ISO 14040, o estudo da ACV é dividido em quatro etapas: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação dos dados e resultados. Com essas etapas é possível obter uma visão geral do processo. Para estimar de forma quantitativa o impacto que esses processos podem causar, gerados no ciclo de vida de um produto, é necessário um grande número de informações e a tecnologia tem



possibilitado uma boa estimativa desses valores para auxiliar a tomada de decisões a respeito das origens desses impactos por meio de softwares. Para o presente trabalho, foi utilizado o software holandês SimaPro. Posto isso, a Avaliação do Ciclo de Vida tem se tornado cada vez mais uma ferramenta eficaz para gestão ambiental podendo ser aplicada em diversas áreas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral do presente trabalho corresponde à Avaliação do Ciclo de Vida da estação de tratamento de efluente em uma indústria têxtil no Rio Grande do Norte.

### **1.2.2 Os objetivos específicos são:**

- Levantar todos os dados de entrada do processo de tratamento do efluente (químicos, energia);
- Realizar a avaliação quantitativa dos impactos ambientais desse processo;
- Analisar as possíveis melhorias a serem implementadas a partir do resultado da avaliação.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O segundo capítulo do estudo contempla a base de referencial teórico que será utilizada para o presente trabalho sendo este um compilado dos conceitos e temas fundamentais para respaldar todas as discussões realizadas no decorrer da pesquisa.

### **2.1 A indústria têxtil no Brasil**

A indústria têxtil foi uma das primeiras a se desenvolver no processo de industrialização no Brasil. No contexto da revolução industrial, o Brasil se destacava com a produção de algodão proveniente do trabalho escravo, fato que serviu de impulso para que o país se tornasse grande exportador da matéria para os países da Europa que já se encontravam com uma modernização em seus processos fabris. Em 1844, a Tarifa Alves Branco, que protegia as manufaturas brasileiras, veio para incentivar a industrialização no país que foi um dos últimos a iniciar esse processo. Além disso, é sempre necessário lembrar do papel da tecnologia nesse processo visto que a partir dela foram criados novos meios de produção mais modernos, com aprimoramento das máquinas, resultando no nascimento da indústria da moda e suas constantes novidades no que consumir e como esse consumo será feito (FUJITA; JORENTE, 2015).

Hoje, a indústria têxtil continua com grande importância para o Brasil e transparece por meio dos números divulgados pela Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (Abit) como resultado do último ano: em 2021 foram cerca de 1,36 milhão de empregos diretos e 8 milhões empregos indiretos, contando com 60% de mão de obra feminina, tornando-se o segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas juntos. Ainda segundo o Abit, em 2020 o investimento no setor foi de cerca de R\$4,5 bilhões e em 2021 bateu o faturamento de R\$ 194 bilhões (ABIT, 2021).

#### **2.1.1 A indústria da moda e o meio ambiente**

A moda é caracterizada pela sua sazonalidade e por carregar um caráter bastante cultural que reflete costumes, hábitos e a identidade de uma sociedade. Segundo Lipovetsky (apud Vieira 2011), foi no século XIX que a moda começou a ser caracterizada por uma tendência de alta costura e de confecção industrial. É a partir

disso que a moda ganha um aspecto de diferenciação por técnicas, preços, marcas, inserida em uma sociedade dividida em classes e com estilos de vida distintos. É um mercado que está em constante adaptação, andando lado a lado com a tecnologia, que contribui para a criação de novas maneiras para otimizar a produção e potencializar resultados.

Segundo Abit (2021), o Brasil é o quarto maior produtor e consumidor de denim (jeans) do mundo, como também o quarto maior produtor de malhas do planeta. Sendo assim, é visível o tamanho do impacto econômico que a indústria da moda juntamente com a indústria têxtil tem para o país. Pensando nisso, também é importante discutir a respeito da forma como essa moda é consumida no cenário nacional. Com o aumento da influência das redes sociais e a propagação de uma cadeia linear para essas peças, também é necessário pensar em como essa indústria pode impactar o meio ambiente. Hoje, o que é passado pela mídia, é que o consumo da moda tem que estar em constante manutenção, não pensando na funcionalidade básica de uma roupa ou qualquer que seja o produto têxtil, mas sim no que ele representa para a tendência daquele período, caracterizando um consumo de constante descarte.

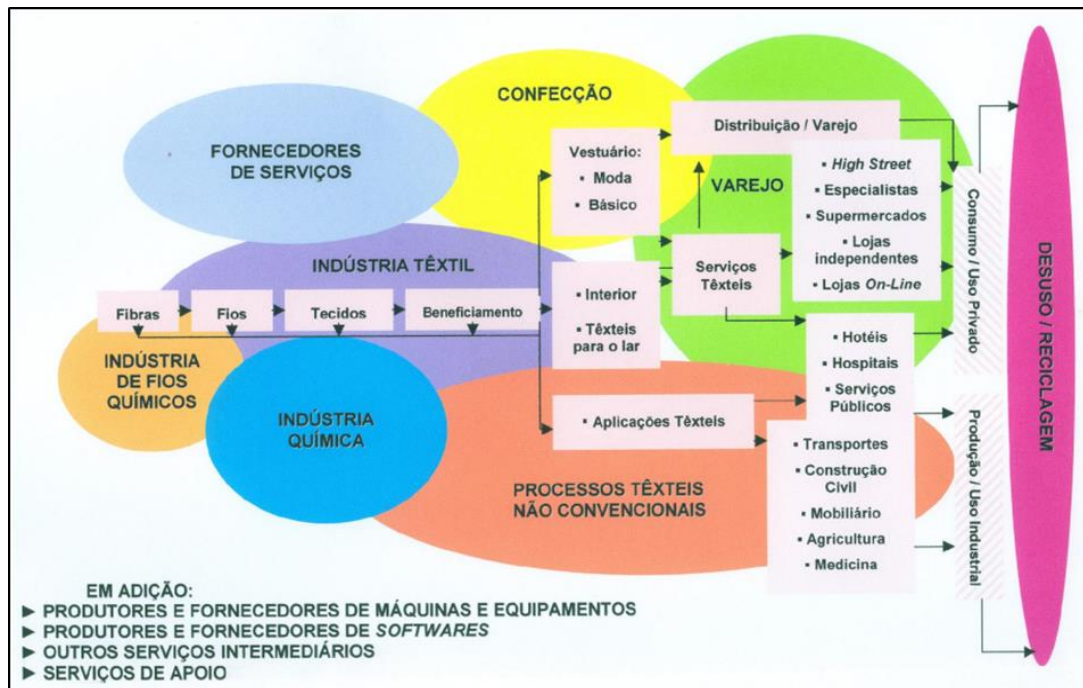
O cuidado com o meio ambiente entra na indústria da moda (e consequentemente na indústria têxtil) uma vez que o mercado está cada vez mais interessado em consumir marcas que tenham esse apelo ecológico. Segundo matéria da VOGUE para o G1 (apud Ellen Macarthur Foundation), a produção têxtil utiliza cerca de 93 bilhões de metros cúbicos de água anualmente. Além disso, cerca de 20 por cento das águas residuais globais são oriundas dos processos de tingimento e acabamento na indústria da moda, (KANT, 2012). Dessa forma, a sustentabilidade pode ser em forma de: fibras e tecidos reciclados, tingimentos sustentáveis, práticas que busquem também a redução dos descartes, além do aumento da economia de água, como também a diminuição dos gastos de energia elétrica.

## **2.2 Processos na indústria têxtil**

Segundo Freitas (2019), o processo produtivo da indústria têxtil abrange o processamento de vários tipos de matérias primas (sintética e naturais), podendo ser misturadas entre si ou não. É um processo responsável por transformar fibras em fios, fios em tecidos e tecidos em artigos como roupas, artigos de casa, etc. Cada fibra tem um processamento específico, mas as operações mais genéricas podem se organizar da seguinte forma: preparação da matéria prima (produção das fibras), fiação

(produção de fio), tecelagem, preparação para o tingimento, tingimento e ou estamparia, acabamentos químicos, acabamentos mecânicos e por fim, a confecção. Esse processo está ilustrado na figura 1.

Figura 1: Estrutura da cadeia produtiva têxtil e confecção



Fonte: EURATEX (2004, p.4)

O primeiro processo de transformação é o da fibra em fios, sendo naturais ou sintéticos, (PEREIRA 2005). Os naturais se referem tanto aos de origem animal, como lã e seda, como também aos de origem vegetal, como algodão e linho. As sintéticas são obtidas através de polímeros sintéticos como o poliéster e o elastano. Segundo Marroques (2020), a segunda etapa de transformação diz a respeito da tecelagem, que é quando os fios se convertem em tecidos e malhas por meio do entrelaçamento entre fios de trama (transversal) e de urdidura (longitudinais). A malha ou tecido ainda passa pelo processo de tingimento e ou estamparia que tem como objetivo melhorar a aparência do material.

### 2.2.1 Beneficiamento têxtil e a lavanderia

O tingimento ou beneficiamento é um processo químico que consiste na alteração da cor da fibra por meio de uma solução ou dispersão através de modificações físico-químicas do substrato, de maneira que a luz refletida provoque uma percepção de cor. Esse processo de tingimento acontece em três etapas:

montagem (adsorção do corante na fibra), fixação (por meio de reações químicas) e tratamento final (lavagens para a retirada de excessos) (FENIX FABRIL,2022).

Quando se refere ao processo de lavanderia, seu maior diferencial para com o tingimento de malhas e tecidos é que ele é feito já no artigo pronto (peça costurada). Sendo assim, enquanto no tingimento o processo é contínuo, na lavanderia, devido às peças confeccionadas atritam entre si, mesmo que o processo seja parecido, essa variável proporciona um aspecto diferenciado e traz uma complexidade. Essa técnica é bastante comum em denim (jeans) mas também pode ser utilizada em produtos de malha. Entre os processos de lavanderia, é possível citar desde os mais simples como amaciados, como os mais sofisticados, como marmorizados, tingimentos com corantes, etc (FERNANDES, 2022).

## **2.3 Tratamento de efluente**

### **2.3.1 Efluentes**

Efluentes (também chamado de águas residuais) é caracterizado por qualquer água que foi utilizada por algum processo doméstico, comercial e/ou industrial. Ou seja, efluente é tanto o esgoto que é proveniente de alguma casa ou estabelecimento comercial, como também é a água que foi resultado de alguma operação industrial. A maior diferença entre esses tipos de efluente é que o de origem industrial pode conter uma mistura de substâncias diferentes e muito tóxicas quando comparado com o de origem doméstica ou comercial (VGR RESÍDUOS, 2022).

### **2.3.2 Legislação ambiental**

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), direciona as condições, parâmetros e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos d' água receptores através da Resolução nº 430 de 13 de Maio de 2011. Com relação ao descarte indireto do efluente, nos casos de inexistência de legislação ou normas específicas, deve-se seguir a Resolução em questão.

Do mesmo modo o DIN (Distrito Industrial de Natal) dispõe da instrução normativa nº 01 para os requisitos e padrões para recebimento de efluentes no sistema de esgotamento de efluentes líquidos que é aprovada pelo CONAMA. Essa Norma tem como objetivos: evitar a introdução de poluentes, obstrução, explosão e risco à saúde dos operadores, evitar o lançamento de volume de efluente ou carga orgânica

que causem desequilíbrio hidráulico ou biológico da ETE, evitar a introdução de poluentes não biodegradáveis que causem inibição à atividade microbiana (sendo assim aos processos de tratamento biológico da ETE) e também incentivar as empresas a utilização de técnicas de reciclagem e reutilização de efluentes. Algumas Normas são complementares a essa e também precisam ser cumpridas por todos os usuários do DIN: Resolução nº 357/2005 do CONAMA, Lei nº 272/04, licenças ambientais emitidas pelo IDEMA/RN e licenças ambientais do DIN emitidas pelo IDEMA/RN.

### **2.3.3 Parâmetros para tratamento de efluente**

Para determinar o nível de contaminação de um efluente e seu potencial de geração de prejuízos a mananciais de água, alguns parâmetros são utilizados para entender a caracterização desse efluente, como e em que será necessário agir nele. Alguns deles são: DQO, DBO, pH, metais pesados, óleos e graxas, cor, entre outros.

O efluente industrial é caracterizado por gerar elevadas cargas de demanda química de oxigênio (DQO) e de demanda bioquímica de oxigênio (DBO). A DQO refere-se à quantidade de oxigênio que é necessária para decompor quimicamente a matéria prima e a DBO é a quantidade de oxigênio necessária para fazer isso biologicamente por meio de microorganismos. É através da DBO que é possível avaliar o total de matéria prima que foi retirada durante o processo de tratamento do efluente: uma alta DBO confirma a existência de grande quantidade de matéria orgânica no efluente e uma baixa DBO representa baixo nível de contaminação, ausência de poluentes e de microrganismo decompositores. Já a DQO é responsável por medir o total de matéria orgânica existente em uma amostra por meio da capacidade de digestão de um reagente: uma alta DQO significa que aquela amostra consome uma alta quantidade de oxigênio durante a degradação (NUTRENZI, 2022).

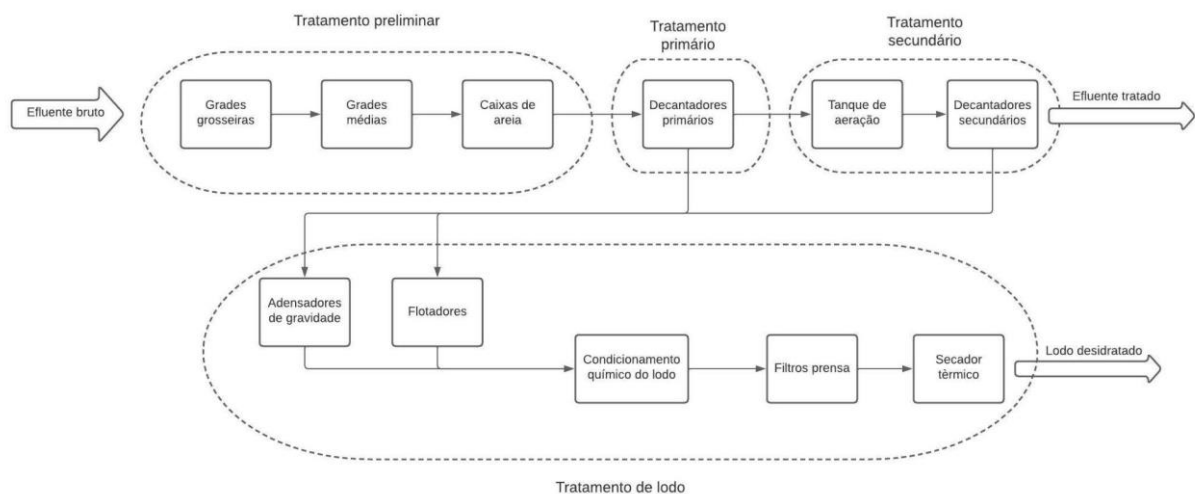
Para um efluente têxtil, a cor é a característica mais evidente em um efluente têxtil e isso está ligado aos corantes utilizados nos processos, especialmente os que são solúveis em água. Quando comparado com os outros químicos que fazem parte do processo, a concentração desses corantes é muito mais baixa, mas suficiente para ser uma forte característica no efluente (HASSEMER *et al.*, 2002).

### **2.3.4 O processo de uma estação de tratamento**

O processo de tratamento de efluente pode ser feito de forma biológica, físico-química ou com ambos, pois apesar de diferentes, podem ser complementares. Segundo o Tera Ambiental (2022), o tratamento físico-químico pode ser e é muito frequentemente utilizado em indústrias têxteis, de celulose, a fim de retirar poluentes inorgânicos, materiais insolúveis, metais pesados, material orgânico não biodegradável, cor, sólidos em suspensão, entre outros.

O funcionamento de uma estação de tratamento de efluente (ETE) compreende três etapas: tratamento preliminar (gradeamento e desarenação) e tratamento primário (floculação e sedimentação), tratamento secundário (processos biológicos de oxidação) e tratamento do lodo e tratamento terciário (polimento da água). A depender do sistema de tratamento que seja adotado, algumas etapas ou processos podem ser suprimidos. De modo geral, pode-se esquematizar uma estação de tratamento de efluente como demonstrado na Figura 2

Figura 2: Esquematização geral de uma estação de tratamento de efluente.



Fonte: produzida pela autora.

O objetivo do processo preliminar é remover sólidos mais grosseiros e até mesmo os mais finos, além de outros materiais grandes que possam ser encontrados no efluente bruto e é necessário para garantir o melhor funcionamento das próximas etapas. As operações preliminares geralmente incluem o processo de gradeamento (remoção de sólidos grosseiros) em que, através de dispositivos como barras de ferro ou aço projetados a partir da dimensão dos sólidos que se pretende remover, o material é removido enquanto o efluente consegue seguir seu fluxo. Logo em seguida,

ocorre peneiramento para a remoção de sólidos muito finos ou fibrosos complementando o sistema de grades. Por fim, o processo de desarenação tem como função remover a areia (constituída de material mineral: areia, cascalho, etc.) com a finalidade de diminuir a possibilidade de obstrução em tubulações, tanques e acontece por meio de sedimentação: os grãos de areia por serem maiores e com maior densidade, vão para o fundo do tanque e a matéria orgânica, por sua sedimentação mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para os próximos processos (MARQUES, 2022).

De acordo com Silva e Carvalho (2022), o tratamento primário tem o intuito de equalizar e neutralizar a carga do efluente por meio de um tanque de equalização, além de remover os sólidos em suspensão sedimentáveis, consistindo em três processos: floculação, decantação primária e peneira rotativa. Na floculação (ou coagulação), através de produtos químicos acontece a aglutinação e o agrupamento das partículas a serem removidas. Em seguida, essas partículas decantadas, por meio de uma sedimentação são separadas em sólidos (lodo) e líquido (efluente bruto). Essa massa de sólidos é chamada de lodo primário bruto e pode ser condensada em um poço e enviada diretamente para o descarte desse material. Enfim, por meio de uma peneira ou gradeamento, os sólidos que restaram são separados por meio de um processo físico.

O tratamento secundário trata-se de reações aeróbicas ou anaeróbicas a fim de remover a matéria orgânica. No tanque de aeração, microrganismos aeróbios (bactérias, fungos, etc) entram em contato direto com o material orgânico composto no efluente, que são como alimento para esses organismos que convertem a matéria em gás carbônico, água e material celular. Então, é na decantação secundária e retorno do lodo que ocorre a clarificação do efluente. Os decantadores secundários são responsáveis pela saída clarificada do efluente de modo que retém as partículas em suspensão que estão no tanque de aeração por meio de sedimentação promovendo também o retorno do lodo em concentração mais elevada. Após todos esses processos o efluente líquido está pronto para ser descartado para atividades menos nobres como lavagem de ruas e regar jardins. Aqui também é feito o descarte do lodo (SILVA E CARVALHO, 2022).

Em paralelo ao processo do tratamento do efluente, o lodo também precisa passar por etapas antes do seu descarte final. No adensamento do lodo acontece uma



redução do seu volume através do aumento de seu teor de sólidos. Em seguida, passa pela digestão anaeróbica para que ocorra a estabilização de substâncias instáveis e da matéria orgânica do lodo fresco. No processo de desidratação do lodo, é feita a remoção da umidade que o compõe por meio de centrífuga, filtro de prensa ou belt press. Por fim, na secagem, a umidade também é retirada através de um secador térmico e então ocorre a evaporação da água contida no lodo (SILVA E CARVALHO, 2022).

Devido a necessidade, em algumas indústrias, de retirar poluentes como: macro-nutrientes nitrogênio e potássio ou alguns metais pesados, é aplicado o tratamento terciário que pode conter etapas como: filtração, ultra filtração, adsorção (carvão ativado), osmose reversa, cloração, ozonização, entre outros processos a depender da demanda (MARQUES, 2022).

## **2.4 Avaliação do ciclo de vida**

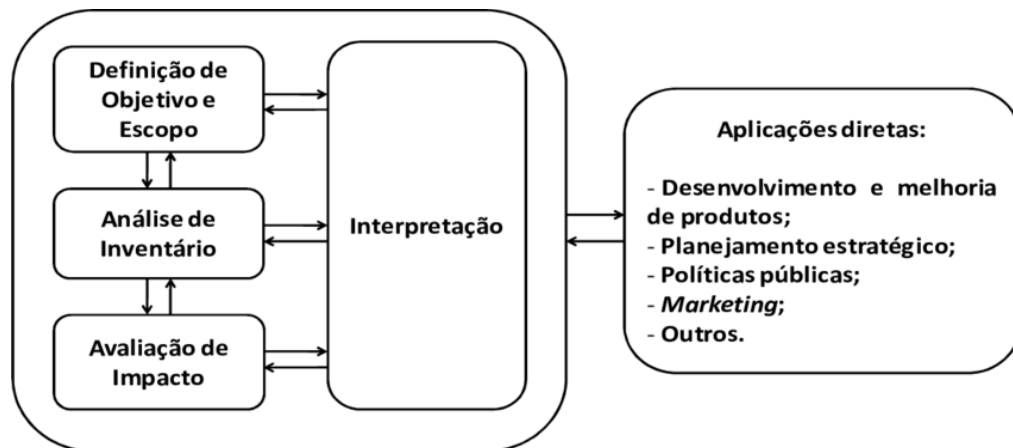
A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta utilizada tanto no meio acadêmico com o interesse de conhecer sistemas produtivos e sua relação com o meio ambiente, quanto pela indústria com a finalidade de melhorar a eficiência ambiental de seus processos ou até reduzir custos permitindo mensurar o impacto ambiental em potencial de algum produto, processo ou serviço durante o seu ciclo de vida. Com a ACV é possível identificar quantitativamente quais estágios têm maior contribuição no impacto de determinado ciclo de vida a partir da coleta de todos os dados de determinado produto (ou seja, de ponta a ponta do processo) e assim elaborar melhorias e planos de ação direcionados para a maior causa do impacto. Segundo Passuello *et al.* (2014) (apud BRASIL, 2011), essa metodologia é indicada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro) como base de tomada de decisão na indústria e nas organizações governamentais e não governamentais.

A ACV é um recurso internacionalmente reconhecido na melhoria da sustentabilidade de processos, sendo assim, sua aplicação nas indústrias abre portas para o acesso ao mercado internacional, também atingindo um público que está cada vez mais exigente com relação ao comportamento ambiental dos produtos que consome (PASSUELLO *et al.*, 2014).

### **2.4.1 Etapas da avaliação do ciclo de vida**

A determinação da estrutura, diretrizes e etapas de uma ACV acontece por meio da norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) ISO 14040 que foi elaborada no Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental, pela Comissão de Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida. Essa norma dita que a ACV é composta por quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação. As etapas podem ser compreendidas na Figura 3.

Figura 3: Estrutura da avaliação de ciclo de vida.



Fonte: ABNT (2009).

#### 2.4.1.1 Definição do objetivo e escopo

O objetivo de uma ACV define qual o seu propósito, as razões do estudo, quais os interessados por aquele estudo e se há intenção em utilizar os resultados para futuras comparações. No escopo é esperado que seja bem definido para assegurar que o objetivo seja suficientemente atendido e inclui: o sistema do produto, as funções do produto, a unidade funcional, a fronteira do sistema, categorias de impacto, requisitos, limitações, pressupostos. Sendo assim, é esperado que aspectos como: a geografia, tempo e tecnologia do sistema sejam considerados, ou seja, a fração do espaço sobre qual se dará a aplicação da ACV, podendo se considerar do “berço ao túmulo”, “berço ao portão” ou, “portão a portão” (SEO; KULAY, 2006). A abrangência do “berço ao túmulo” é considerada a ACV completa desde a extração de recursos até a fase de destinação final. Uma ACV do “berço ao portão” considera desde a extração de recursos até o portão da fábrica, antes da distribuição ao consumidor. Já a ACV de “portão ao portão” consiste apenas de uma análise no interior da fábrica ou empresa.

A unidade funcional consiste na unidade em que as entradas e saídas do produto ou processo serão referenciadas, ou seja, a unidade que será a base para os outros dados. Já a fronteira indica quais os processos elementares estarão incluídos no sistema (NBR ISO 14040, 2009).

#### **2.4.1.2 Análise de inventário (ICV)**

De acordo com a Norma ISO 14040 (2009), é na análise de inventário que é feita a coleta de dados para quantificar as entradas e saídas do sistema de produto. Nesse momento, à medida que se vai conhecendo mais sobre o sistema, novos requisitos ou limitações dos dados podem ser identificados demandando, por vezes, exigindo uma revisão do objetivo e escopo. A coleta de dados pode incluir: entradas de energia, insumos de matérias-primas, insumos auxiliares, resíduos, emissões para o ar, água e/ou solo. Após a coleta desses dados, o procedimento de cálculo envolve: validação dos dados coletados, conexão dos dados com os processos elementares, correspondência dos dados dos fluxos com a unidade funcional.

#### **2.4.1.3 Avaliação do impacto (AICV)**

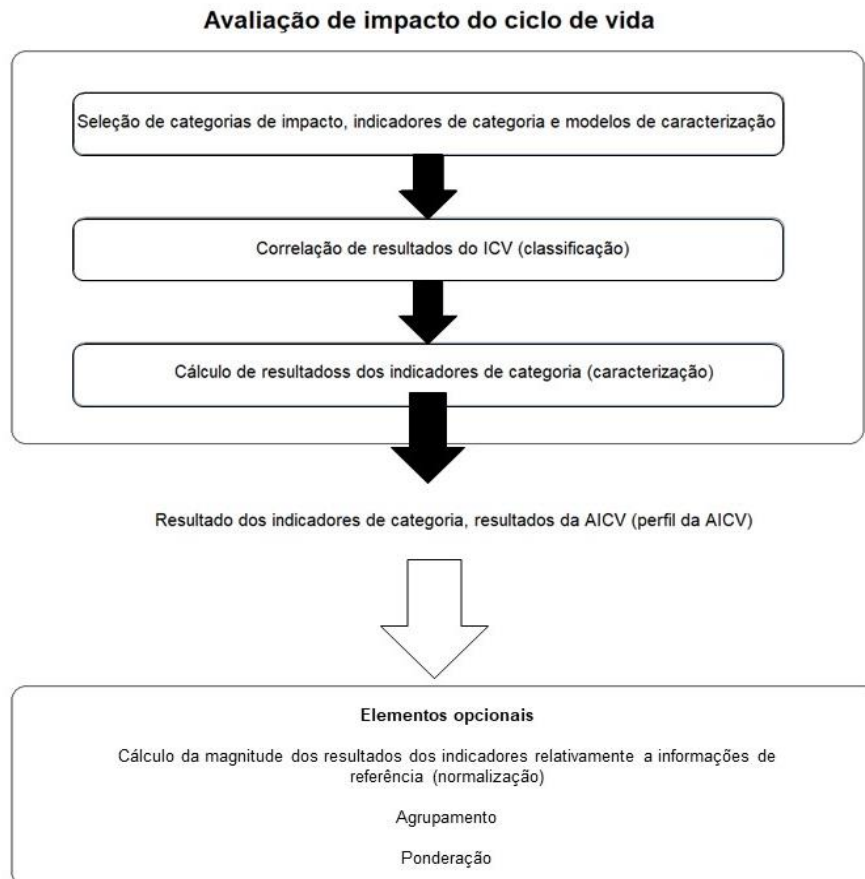
Na avaliação do impacto do ciclo de vida ocorre a seleção e definição, classificação, caracterização das categorias de impactos ambientais em que os resultados obtidos na análise do inventário serão avaliados, considerando os efeitos que podem ser causados ao meio ambiente e à saúde humana. A análise do impacto transforma os resultados do inventário em impactos como: aquecimento global, toxicidade humana, radiação, acidificação terrestre, entre outras categorias (SEO; KULAY, 2006). Os elementos da fase de AICV estão na figura 5.

Sobre os elementos opcionais da fase de AICV: a normalização consiste no cálculo dos resultados do indicador das categorias escolhidas em relação a um referencial (por exemplos, as entradas e saídas do processo), o agrupamento representa a atribuição das categorias de impacto e por fim, na ponderação os resultados são convertidos a uma mesma base de fatores numéricos que representam o impacto total daquele sistema de produto (COLTRO *et al.*, 2007).

Para estudos brasileiros, é recomendado utilizar esses elementos opcionais no modelo de mid-point em que o sistema de processos físicos, químicos e biológicos para dada categoria de impacto é vinculado ao resultado da análise de inventário com indicadores que não chegam aos pontos de impacto mais específicos. O modelo end-

point é o utilizado para obtenção desses resultados finais de categoria mais profundos na saúde humana, recursos naturais, etc.

Figura 4: Elementos da AICV



Fonte: ABNT (2009).

#### 2.4.1.4 Interpretação

É na etapa de interpretação que considera-se juntamente análise de inventário e avaliação de impacto, buscando um resultado que seja consistente com o objetivo e o escopo definido, levando conclusões, explicando as limitações e prevendo recomendações (NBR ISO 14040, 2009).

### 3. METODOLOGIA

Na presente seção, serão expostos os procedimentos metodológicos necessários para o desenvolvimento da presente pesquisa. Ademais, abordará a descrição da empresa objeto de estudo, a indústria têxtil localizada no Rio Grande do Norte, e o setor onde é realizada a pesquisa.

#### 3.1 Descrição da empresa

A pesquisa foi realizada em uma indústria têxtil de confecção localizada na região metropolitana de Natal, no Rio Grande do Norte. Essa empresa possui uma cadeia produtiva que vai desde o recebimento do fio até a entrega do produto final para as lojas varejistas do grupo, passando por diversos processos de beneficiamento de matéria prima e customização. A fábrica estudada pode ser compreendida pelos departamentos descritos na Quadro 1.

Quadro 1: Descrição dos principais setores da organização.

(continua)

| Departamento | Descrição   |
|--------------|---|
| Estilo       | Setor responsável por pesquisar e desenvolver as peças que serão fabricadas e/ou compradas para o varejo.   |
| PCP          | Tem como principal objetivo o planejamento da produção, analisando e controlando a capacidade da fábrica de produção.   |
| DEMA         | Setor responsável pelo Desenvolvimento de Matéria Prima (DEMA). É nele que novas estruturas de malha são desenvolvidas de acordo com a necessidade vista pelo Estilo. |

(continuação)

| Departamento | Descrição  |
|--------------|--|
| Malharia     | Setor responsável por, a partir de fios comprados de fornecedores terceiros, produzir malhas e retilíneas que será encaminhada posteriormente para tinturaria e confecção.   |
| Tinturaria   | Setor responsável desde o desenvolvimento de cor no laboratório até o beneficiamento de tecidos e malhas por meio de tingimento ou estamparia digital.   |
| Corte        | Responsável pelo corte da matéria prima, considerando a modelagem e o encaixe solicitados.   |
| Customização | Setor que dá briho às peças por meio de silk, sublimação, bordado, prensa e strass. É na customização que as estampas são feitas e é carregado valor às peças.   |
| Lavanderia   | Na lavanderia, a maior parte da demanda é o beneficiamento de índigo e sarja (jeans). É nesse momento que calças, vestidos e jaquetas ganham suas “lavagens” através de processos físico-químicos complexos. Peças prontas em malha também podem passar por esse processo. |
| Confecção    | Na confecção, é onde as peças são costuradas, tornando-se realmente um produto acabado (peça pronta).  |

(conclusão)

| Departamento                      | Descrição  |
|-----------------------------------|--|
| Qualidade Assegurada              | Setor responsável por todo o processo de qualidade da produção, desde a realização de testes para homologação de matérias-primas e materiais, até a inspeção de peças prontas.   |
| Engenharia de Produto e Processos | Setor responsável por diversas etapas da confecção de protótipos, que serão as peças pilotos para a produção utilizar como norte. Esse setor atua como uma pequena fábrica, considerando apenas a prototipagem, e possuindo equipe própria de alfândega, confecção e qualidade assegurada. |
| Tratamento de efluente            | Final da cadeia produtiva, setor responsável por tratar o efluente gerado pelos processos atendendo a legislação.  |

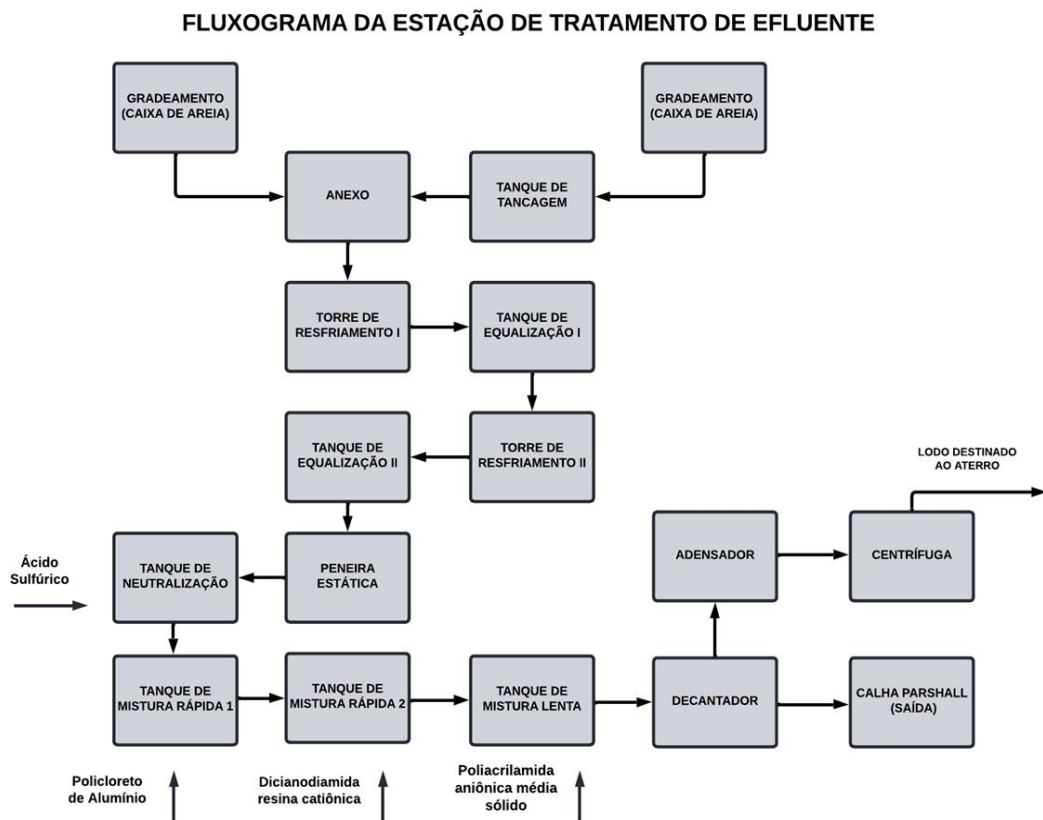
Fonte: elaborado pela autora (2022).

### 3.2 Descrição do setor para estudo de caso

Conforme explicitado na Tabela 1, a estação de tratamento de efluente é responsável por tratar o efluente proveniente dos setores produtivos, majoritariamente, lavanderia e tinturaria. O esgoto doméstico não entra para esse processo.

A estação funciona em três turnos, durante seis dias na semana e está localizada logo na entrada da empresa o que permite que o efluente, em grande parte do caminho, seja enviado através da gravidade, sem muitos auxílios de bombas até sua chegada na estação de tratamento. Na presente estação é realizado um tratamento preliminar unicamente físico-químico no efluente, que será finalizado na Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), empresa prestadora desse serviço. É possível visualizar todo o processo da estação do fluxograma da Figura 3.

Figura 5: Fluxograma do processo.



Fonte: disponibilizado pela empresa.

### 3.3 Caracterização do estudo de caso

Segundo dados divulgados do FIERN (Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte) de uma pesquisa feita pelo MAIS RN, o setor têxtil e de confecção representa cerca de 4,5% do Produto Interno Bruto (PIB), gerando mais de 20 mil empregos em aproximadamente 570 negócios do setor no estado. Para confeccionar uma camisa de algodão de 250 gramas são utilizados 2.500 litros de água (BORGES, 2020). Segundo Duarte e Silva (2020) (Apud Figueiredo & Cavalcanti, 2010), um estudo feito e publicado pela empresa Levi's em 2006 sobre a ACV de um par de calça jeans demonstrou que seu consumo equivale a 3.482 litros de água, o que seria equivalente a deixar uma mangueira ligada por 106 minutos. Sendo assim, as indústrias que estão inseridas nesse contexto no polo industrial de Natal (Distrito Industrial de Natal - DIN) devem seguir requisitos padrões para o despejo de seus efluentes em instrução normativa aprovada pelo CONAMA. A escolha da empresa do presente trabalho deve-se ao seu grande porte fabril e por ter uma cadeia produtiva completa desde o tecer e beneficiamento da matéria prima até a confecção das peças, funcionando em três turnos, seis dias por semana.



O efluente bruto proveniente da fábrica tem as seguintes características apresentadas na tabela 2. Os corantes residuais, como já exposto no presente trabalho, são responsáveis pela cor e altos valores de DQO e DBO nos efluentes de tingimento, que são os parâmetros mais sensíveis a serem tratados. Para isso, a estação a qual a pesquisa se refere, utiliza de ácido sulfúrico para a neutralização do seu efluente bruto, uma resina catiônica como removedora de cor, poliacrilamida aniônica como floculante e policloreto de alumínio como coagulante. Ademais, bombas e motores compõem o processo a fim de transportar o efluente entre as etapas, porém, é importante destacar que, em muitos pontos, esse movimento acontece através da gravidade. Os valores de cada entrada serão explorados na análise de inventário.

Tabela 2: Caracterização do efluente bruto

|                     | EFLUENTE BRUTO |
|---------------------|----------------|
| DBO (mg/l)          | 438            |
| DQO (mg/l)          | 905            |
| COR VERDADEIRA (CU) | 1390           |
| pH                  | 9,72           |

Fonte: dados coletados na empresa.

### 3.4 Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida

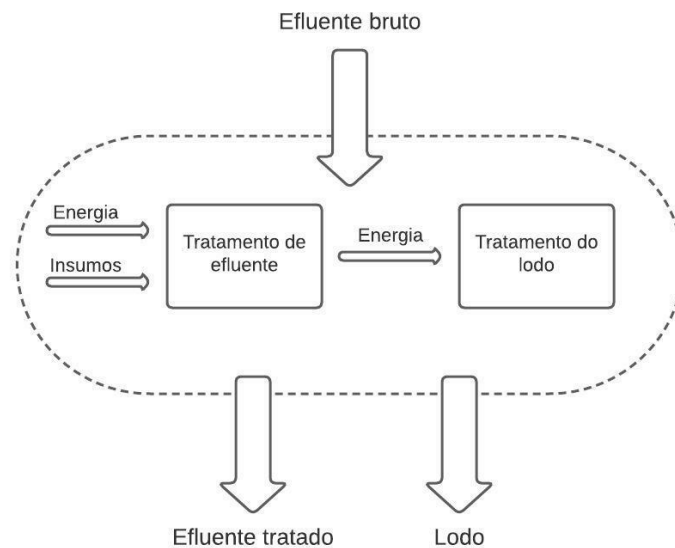
A metodologia aplicada na ACV foi com base na ISO 14040 que consiste em quatro etapas: objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação.

#### 3.4.1 Objetivo e escopo

O objetivo deste estudo é analisar o desempenho ambiental do processo de tratamento de efluente de uma indústria têxtil considerando todas as entradas e saídas do processo. A unidade funcional escolhida para ser a referência dos dados foi o tratamento de um metro cúbico de efluente. O escopo considerado na pesquisa adotou uma abordagem do berço ao portão, ou seja, considerando desde a produção de todos os insumos do processo (químicos e energia), até a saída do efluente tratado. A etapa de tratamento do lodo consiste tanto no seu transporte do decantador, passando pelo

adensador e chegando até a centrífuga, como também do próprio processo de centrifugar o lodo. O descarte final do lodo (resíduo do processo) não foi incluído na fronteira do sistema, nem o tratamento posterior que deve ser aplicado ao efluente após ser tratado pela empresa do presente estudo, pois como afirmado anteriormente, nela é realizado um tratamento primário físico-químico e após esse tratamento o efluente segue para ser finalizado pela companhia do estado do RN (figura 5).

Figura 6: Fronteira do sistema de tratamento de efluente para estudo.



Fonte: Autora.

### 3.4.2 Análise de inventário

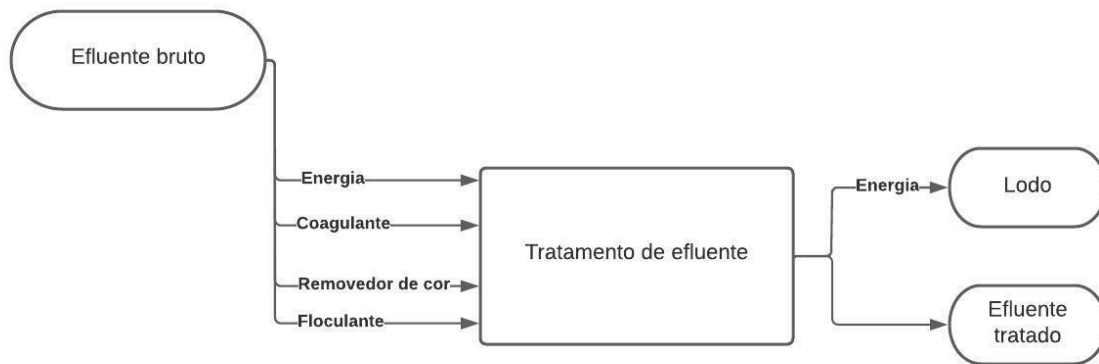
Para a análise de inventário, os dados primários relacionados ao tratamento de efluente foram coletados diretamente na planta da estação de tratamento da empresa (tabela 3) e são referentes a unidade funcional de um metro cúbico de efluente bruto. A energia apresentada na tabela 3, consiste da energia total de todas as etapas para o tratamento do efluente e do lodo. Pode-se entender a esquematização dos dados através da figura 7. Os dados secundários de produção de eletricidade e insumos químicos são provenientes da base de dados Ecoinvent v.3.

Tabela 3: Dados do processo.

| ENTRADA                              | QUANTIDADE  | UNIDADE |
|--------------------------------------|-------------|---------|
| Energia do processo                  | 1,9254      | kWh     |
| Ácido sulfúrico                      | 0,000275    | kg      |
| Policloreto de Alumínio              | 0,0005588   | g       |
| Dicianodiamida Resina Catiônica      | 0,000253    | g       |
| Poliacrilamida aniônica média sólido | 0,000004125 | g       |

Fonte: disponibilizado pela empresa.

Figura 7: Esquematização do processo.



Fonte: autora.

### 3.4.3 Análise do impacto

A análise do impacto ambiental do processo de tratamento de efluente foi realizada através do software holandês SimaPro 9.4 e o método escolhido foi o ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.07 / World (2010) H, em que foram avaliadas onze categorias de impacto: mudança climática (aquecimento global), depleção da camada de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, toxicidade humana (câncer), toxicidade humana (não câncer) e escassez de recursos minerais.

#### 4. RESULTADOS

A tabela e o gráfico 1 apresentam o resultado do desempenho ambiental quantitativo para as categorias de impacto escolhidas para cada elemento que compõem o tratamento de efluente.

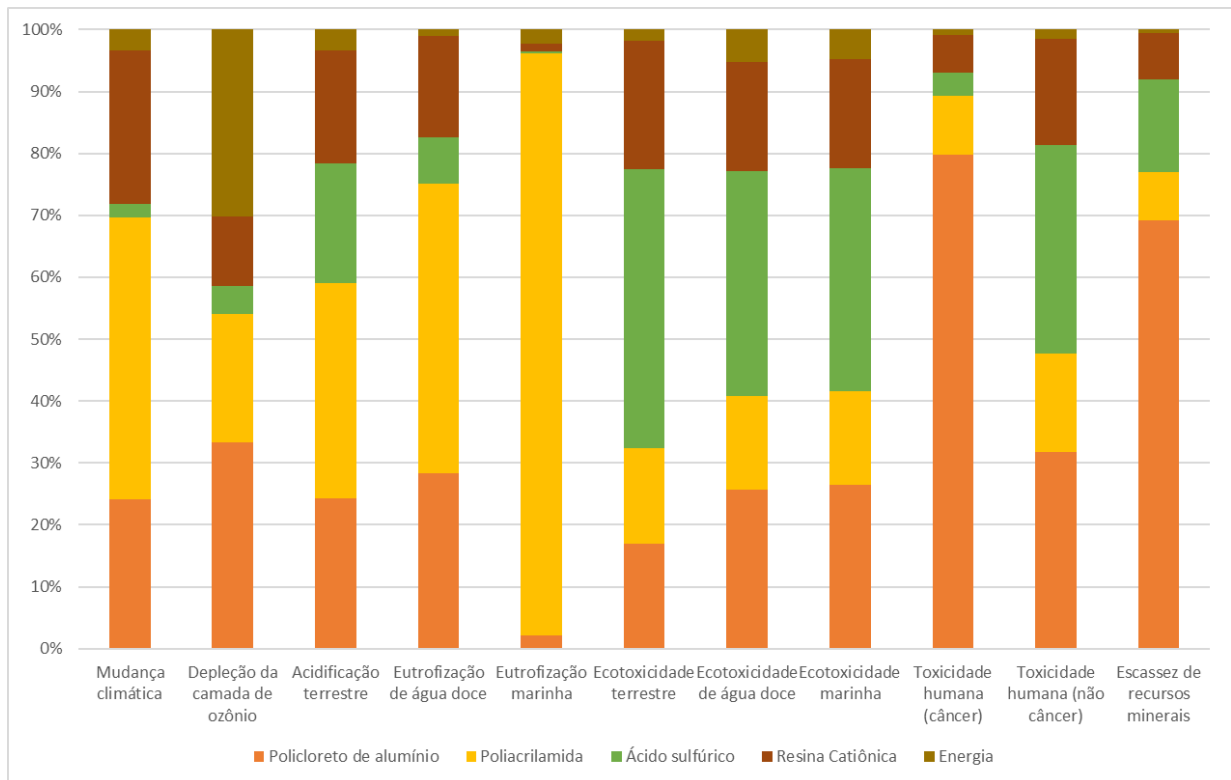
Tabela 4: Impactos ambientais dos elementos que compõem o processo de tratamento do efluente.

| Categoria de impacto           | Unidade               | Policloreto de alumínio | Poliacrilamida | Ácido sulfúrico | Resina Catiônica | Energia    |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------|
| Mudança climática              | kg CO <sub>2</sub> eq | 1,7844662               | 3,3547714      | 0,16350786      | 1,8281603        | 0,25262379 |
| Depleção da camada de ozônio   | kg CFC11 eq           | 8,22E-07                | 5,11E-07       | 1,10E-07        | 2,77E-07         | 7,44E-07   |
| Acidificação terrestre         | kg SO <sub>2</sub> eq | 0,00924279              | 0,01325895     | 0,00737318      | 0,00696396       | 0,00128384 |
| Eutrofização de água doce      | kg P eq               | 0,00119247              | 0,00197243     | 0,00031448      | 0,00069298       | 4,15E-05   |
| Eutrofização marinha           | kg N eq               | 5,19E-05                | 2,36E-03       | 8,41E-06        | 3,0669E-05       | 5,71E-05   |
| Ecotoxicidade terrestre        | kg 1,4-DCB            | 9,6416297               | 8,7048294      | 25,591739       | 11,683558        | 1,0603557  |
| Ecotoxicidade de água doce     | kg 1,4-DCB            | 0,15807685              | 0,09310443     | 0,22459245      | 0,10856444       | 0,03198788 |
| Ecotoxicidade marinha          | kg 1,4-DCB            | 0,21502707              | 0,12340942     | 0,29294733      | 0,14308669       | 0,03921766 |
| Toxicidade humana (câncer)     | kg 1,4-DCB            | 0,97094411              | 0,115894       | 0,04435635      | 0,07539901       | 0,00991877 |
| Toxicidade humana (não câncer) | kg 1,4-DCB            | 3,9877507               | 1,9942929      | 4,2313157       | 2,1340026        | 0,19595613 |
| Escassez de recursos minerais  | kg Cu eq              | 0,06631365              | 0,00746407     | 0,01444532      | 0,00709431       | 0,00060493 |

Fonte: resultado do software.

É notório que o impacto ambiental causado pela poliacrilamida, principalmente nas categorias de mudança climática, eutrofização de água doce e eutrofização marinha é maior que o dos outros componentes do processo. Segundo Pires (2015), a poliacrilamida precisa ser copolimerizada para solubilizar em água. A poliacrilamida aniônica, devido ao seu fator aniônico tem o poder de encapsulamento dos contaminantes presentes nos fluídos ao formar flocos que serão decantados no processo. Esse fato pode ser influenciado pela carga iônica e o peso molecular do polímero que será formado após essa reação e também à temperatura dessa reação, ou seja, ocasionando que a poliacrilamida continue no meio sem ser solubilizada revelando a possível razão do seu desempenho ambiental nas categorias citadas.

Gráfico 1: Desempenho ambiental dos componentes do processo.



Fonte: autora.

Também é possível observar que o policloreto de alumínio apresenta impacto elevado referente a escassez de recursos minerais que pode ser explicado pois, segundo Oliveira e Antunes (2018), o policloreto de alumínio (PAC), é um sal metálico obtido tanto pela reação entre ácido clorídrico e hidrato de alumínio como também com outras fontes de alumínio, recurso natural. Segundo Rosalino (2011), o alumínio é um metal pesado que, ao exceder a quantidade que o organismo humano tem capacidade de eliminar, acumula-se nos ossos, fígado, etc. Sua principal forma de contaminação é proveniente do abastecimento urbano de água, pois essa é tratada com alumínio como exposto no presente trabalho, explicando o impacto ambiental elevado do policloreto de alumínio com relação a toxicidade humana câncer.

Nas categorias de ecotoxicidade terrestre, água doce e marinha e toxicidade humana não câncer, pode ser observado que o impacto ambiental causado pelo ácido sulfúrico é superior que os demais elementos do processo. Uma das vantagens da utilização desse ácido é por ser pouco volátil, ou seja, não evapora com facilidade. Em contrapartida, o seu processo produtivo é realizado a partir do enxofre podendo possibilitar a emissão de poluentes SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre) e SO<sub>3</sub> (trióxido de enxofre), além de que, na presença da água, pode formar gotículas que ficam

suspensas na atmosfera por longos períodos contribuindo para a formação de chuva ácida. O ácido sulfúrico dispõe de riscos em seu manuseio, exigindo de muitos cuidados ao de trabalhar com o químico pois a inalação de gotículas pode diminuir a capacidade do trato respiratório. A exposição ao dióxido de enxofre, que é classificado como um gás irritante, proveniente da produção desse ácido provoca broncoespasmos, tosse, dor no peito, náuseas e vômitos (FREITAS *et al.*, 2012).

Por fim, percebe-se que a energia foi o componente com menor impacto ambiental do processo de tratamento desse efluente, reflexo do transporte desse ser feito pela gravidade até sua chegada na estação, não necessitando de tantas bombas para a sua movimentação.

## 5. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos comprovou-se que o maior impacto ambiental do processo de tratamento do efluente do presente estudo de caso se dá, em sua maioria, devido a utilização da poliacrilamida, do policloreto de alumínio e do ácido sulfúrico, através do software SimaPro. Com uma unidade funcional de 1 metro cúbico de efluente bruto, notou-se que o floculante do processo, a poliacrilamida, teve seu maior impacto nas categorias de mudança climática, eutrofização de água doce e eutrofização marinha, enquanto o coagulante, o policloreto de alumínio, teve maior interferência nas categorias de escassez de recursos minerais e toxicidade humana câncer. Já o neutralizante do processo, o ácido sulfúrico, teve maior impacto nas ecotoxicidades e na toxicidade humana não câncer. O elemento com menor impacto nesse processo foi a energia elétrica, proveniente das bombas utilizadas ao longo do processo, pois grande parte do processo de movimentação desse efluente é feito através da gravidade.

Já se tem estudos e implementações da utilização do reator de CO<sub>2</sub> para a neutralização de efluentes no processo de tratamento, substituindo a utilização de ácidos fortes como o ácido sulfúrico. Suas principais vantagens são: menor o risco em seu manuseio para o operador, equipamentos simples, sem corrosão de equipamentos devido ácidos fortes, investimento moderado e menor o custo (AIR LIQUIDE, 2022). Sendo assim, para dar continuidade à essa pesquisa, é interessante um estudo sobre a Avaliação do Ciclo de Vida comparando a utilização do ácido sulfúrico e do CO<sub>2</sub> como neutralizantes no processo de tratamento de efluentes.

## REFERÊNCIAS

AIR LIQUIDE (org.). **Porquê utilizar o CO2 no tratamento das águas?** Disponível em: <https://pt.airliquide.com/solucoes/tratamento-aguas/porque-utilizar-o-co2-no-tratamento-das-aguas>. Acesso em: 02 nov. 2022.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments**, v. 78, p. 117-130, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (org.). **Perfil do Setor**. 2022. Disponível em: <https://abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 12 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**:gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

BORGES, Leonardo. **Você sabe quanta água é necessária para produzir 1 Kg de carne?** 2020. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2020/03/pegada-hidrica-voce-sabe-quanta-agua-produzir-kg-carne.html>. Acesso em: 27 nov. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, N. **Resolução nº 01, de 6 de abril de 2011**, que dispõe sobre a Aprovação do Regimento Interno e da composição do Comitê Gestor do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências. Brasília: 2011.

CAMPOLINA, Amanda Castro. **VIABILIDADE DE UM TINGIMENTO REATIVO SUSTENTÁVEL COM REDUÇÃO DE ELETRÓLITO E DE PRODUTO AUXILIARES**. 2022. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011. **Resolução nº 240, 13 de Maio de 2009**. Ministério do Meio Ambiente.

COLTRO, Leda et al. Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. **Campinas: Cetea/Ital**, v. 1, 2007.



ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (org.). **A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future.** Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>. Acesso em: 13 nov. 2022.

EURATEX. **European Technology Platform: for the future of textiles and clothing – a vision for 2020.** Bélgica: European Apparel and Textile Organization, 2004.

FERNANDES, Alinne Kadidja de Sousa. **REÚSO DE ÁGUA NO PROCESSAMENTO DE JEANS NA INDÚSTRIA TÊXTIL.** 2010. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15974/1/AlinneKSF\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15974/1/AlinneKSF_DISSERT.pdf). Acesso em: 13 nov. 2022.

FENIX FABRIL. **Tingimento têxtil.** São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.fenixfabril.com.br/noticia/10/tinturaria/tingimento-texil#:~:text=O%20tingimento%20%C3%A9%20um%20processo,provoque%20uma%20percep%C3%A7%C3%A3o%20de%20cor>. Acesso em: 13 nov. 2022.

FIERN (org.). **MAIS RN apresenta dados e perspectivas de avanço do setor têxtil no estado para SIFT-RN e Vicunha Brasil.** 2022. Disponível em: <https://www.fiern.org.br/mais-rn-apresenta-dados-e-perspectivas-de-avanco-setor-textil-no-estado-para-sift-rn-e-vicunha-brasil/>. Acesso em: 27 nov. 2022.

FREITAS, Clarice Umbelino de *et al.* **Estratégias de vigilância de um acidente envolvendo planta industrial de produção de ácido sulfúrico.** Rio de Janeiro: Cad. Saúde Colet., 2012.

FUJITA, Renata Mayumi Lopes; JORENTE, Maria José. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **Modapalavra**, Florianópolis, v. 8, n. 15, p. 153-174, jun. 2015.

HASSEMER, MARIA ELIZA NAGEL; SENS, MAURÍCIO LUIZ. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 7, n. 1, p. 30-36, 2002.

IBICT (org.). **Histórico da ACV**. Disponível em: <https://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

IBICT (org.). **O que é Avaliação do Ciclo de Vida**. Disponível em: <https://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

KANT, Rita. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, [S.L.], v. 04, n. 01, p. 22-26, jan. 2012. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.41004>. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=17027>. Acesso em: 13 nov. 2022.

KUNZ, Airton *et al.* **NOVAS TENDÊNCIAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS**. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/WZkZzMz4JLhpmyxBq5GfPqB/?lang=pt>. Acesso em: 29 nov. 2022.

LIPOVETSKY, Gilles. **O império do efêmero: a moda e seu destino nas sociedades modernas**. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.

MAINIER, Fernando B.; VIOLA, Eliana Delaidi Monteiro. O sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e o meio ambiente. In: II SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, Não use números Romanos ou letras, use somente números Árabicos., 2005, Fluminense. **Anais [...]**. Resende: Uff, 2005. p. 612-618. Disponível em: [aedb.br](http://aedb.br). Acesso em: 02 nov. 2022.

MARQUES, Flávia. **Conheça as etapas do processo de tratamento de efluente**. Disponível em: <https://acquablog.acquasolution.com/etapas-do-processo-de-tratamento-de-efluentes/>. Acesso em: 18 nov. 2022.

MARROQUES, Julia Cruz. **APLICAÇÃO DE ENZIMAS NA INDÚSTRIA TÊXTEL**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia química) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br>. Acesso em: 29 nov. 2022.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P.. **Wasterwater Engineering: Treatment and Reuse**. New York: The Mc-Graw-Hill Education, 2013.

NUTRENZI (org.). **DBO X DQO**. Disponível em: <https://nutrenzi.com.br/dbo-x-dqo/#:~:text=A%20demanda%20qu%C3%ADmica%20de%20oxig%C3%AAnio,biologicamente%20por%20meio%20de%20microorganismos>. Acesso em: 17 nov. 2022.

OLIVEIRA, Alesandro de; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO APÓS EXPOSIÇÃO AO POLICLORETO DE ALUMÍNIO**. 2018. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unesc, Santa Catarina, 2018.

PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti *et al.* Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, out./dez. 2014.

PEREIRA, L., BASTOS, C., TZANOV, T., CAVACO-PAULO, A., GUBITZ, G.M. Environmentally friendly bleaching of cotton using laccases. *EnvironChemLett*, v. 3, 66-69, 2005. PRODUCTIPEDIA. **Translate Colour fastness of textiles**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.productip.com/kb/productipedia/compliance-resources/colour-fastness-of-textiles#:~:text=Colour%20fastness%20is%20the%20resistance,expressed%20as%20soiling%20or%20staining>. Acesso em: 29 nov. 2022

PIRES, João Octávio Medeiros. **ESTUDO REOLÓGICO DOS VISCOSIFICANTES GOMA XANTANA E POLIACRILAMIDA ANIÔNICA**. 2015. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

RODRIGUES, Ana *et al.* **Um efeito borboleta: a indústria da moda e meio-ambiente**. 2021. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/empauta/um-efeito-borboleta-a-industria-da-moda-e-meio-ambiente/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

ROSALINO, Melanie Roselyne Rodrigues. **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Perfil Sanitária, Universidade Nova, Lisboa, 2011. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/6323>. Acesso em: 07 dez. 2022.

SEO, Emilia Satoshi Miyamaru; KULAY, Luiz Alexandre. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: FERRAMENTA GERENCIAL PARA TOMADA DE DECISÃO. Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-23, ago. 2006. Disponível em: [http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=1&cod\\_artigo=8](http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=1&cod_artigo=8). Acesso em: 03 dez. 2022.

SOUZA, Gislaine. **Materiais e processos têxteis**. 2. ed. Santa Catarina: CEFET/SC, 2009.

SILVA, Diego de Oliveira e; CARVALHO, Antonio R. P.. **Tratamento de efluentes: etapas de um tratamento de efluentes**. Disponível em: [https://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/tratamento-de-efluentes/#:~:text=O%20funcionamento%20de%20uma%20Esta%C3%A7%C3%A3o,terci%C3%A1rio%20\(polimento%20da%20%C3%A1gua\)](https://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/tratamento-de-efluentes/#:~:text=O%20funcionamento%20de%20uma%20Esta%C3%A7%C3%A3o,terci%C3%A1rio%20(polimento%20da%20%C3%A1gua)). Acesso em: 18 nov. 2022.

TERA AMBIENTAL (org.). **A diferença entre o tratamento biológico e físico-químico**. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/339074/a-diferenca-entre-o-tratamento-biologico-e-fisico-quimico#:~:text=O%20tratamento%20f%C3%ADsico%2Dqu%C3%ADmico%20de,org%C3%A2nica%20antes%20do%20tratamento%20biol%C3%B3gico>. Acesso em: 18 nov. 2022.

VGR RESÍDUOS (org.). **EFLUENTES: TIPOS, CLASSIFICAÇÕES E QUAL TRATAMENTO ADEQUADO?** Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/efluentes/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

VOGUE (org.). **A indústria da moda está usando muita água - saiba como reduzir seu consumo**. 2021. Disponível em: <https://vogue.globo.com/um-so->

[planeta/noticia/2021/03/industria-da-moda-esta-usando-muita-agua-saiba-como-reduzir-seu-consumo.html](https://planeta/noticia/2021/03/industria-da-moda-esta-usando-muita-agua-saiba-como-reduzir-seu-consumo.html). Acesso em: 13 nov. 2022.