

## CORANTES SINTÉTICOS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS: DESAFIOS, LEGISLAÇÃO E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS SUSTENTÁVEIS

### SYNTHETIC DYES AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACTS: CHALLENGES, LEGISLATION AND SUSTAINABLE TECHNOLOGICAL INNOVATIONS

Wanison André Gil Pessoa Júnior<sup>1</sup>

Flávia Regina Porto de Azevedo<sup>2</sup>

**RESUMO:** A utilização de corantes remonta aos tempos pré-históricos, evoluindo de pigmentos naturais para mais de 100.000 corantes sintéticos disponíveis atualmente. Este artigo analisa o impacto ambiental desses compostos, amplamente usados nas indústrias têxtil, alimentícia e cosmética, destacando sua persistência, toxicidade e difícil degradação. O objetivo principal foi conceituar os corantes sintéticos e propor soluções para reduzir sua agressividade ao meio ambiente, com ênfase em legislações vigentes e práticas sustentáveis. A pesquisa utilizou uma abordagem dedutiva e revisão bibliográfica de regulamentações como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) e a Resolução CONAMA nº 430/2011. Constatou-se que efluentes industriais contendo corantes frequentemente apresentam compostos tóxicos e recalcitrantes, prejudicando ecossistemas aquáticos e causando riscos à saúde humana. Além disso, foram destacados os desafios na aplicação de tecnologias de tratamento, como processos físicos, químicos e biológicos, e o potencial de estratégias híbridas para remoção de contaminantes. A partir disto, conclui-se que há a necessidade de implementar legislações mais rigorosas, desenvolver tecnologias limpas e incentivar o uso de alternativas biodegradáveis. Por fim, sugere-se maior investimento em pesquisa para novos materiais e métodos de tratamento de efluentes.

**Palavras-chave:** Corante sintético. Poluição. Legislação ambiental. Princípio do desenvolvimento sustentável.

3972

**ABSTRACT:** The use of dyes dates back to prehistoric times, evolving from natural pigments to over 100.000 synthetic dyes available today. This article explores the environmental impact of these compounds, which are widely used in the textile, food, and cosmetic industries, emphasizing their persistence, toxicity, and resistance to degradation. The primary objective is to define synthetic dyes and propose solutions to mitigate their environmental impact, focusing on current legislation and sustainable practices. The study adopts a deductive approach and includes a bibliographic review of regulations such as the National Solid Waste Policy (Law 12,305/2010) and CONAMA Resolution nº. 430/2011. Findings indicate that industrial effluents containing dyes often include toxic and recalcitrant compounds, which harm aquatic ecosystems and pose risks to human health. The article also highlights challenges in implementing treatment Technologies, such: physical, chemical, and biological processes, and the potential of hybrid strategies for contaminant removal. The conclusion underscores the need for stricter legislation, the development of clean technologies, and the promotion of biodegradable alternatives. Finally, it calls for increased investment in research to develop new materials and advanced effluent treatment methods.

**Keywords:** Synthetic dye. Pollution. Environmental legislation. Principle of sustainable development.

<sup>1</sup>Discente da Faculdade de Direito da Universidade Federal do Amazonas e Mestre e graduado em Química pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

<sup>2</sup>Mestre em Educação pelo Programa de Pós-Graduação em Educação - PPGE da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Amazonas (2019), pós-graduada em Direito Penal e Processual pela Faculdade de Direito da Federal do Amazonas (2002). Graduada em Direito pela Faculdade de Direito da Universidade Federal do Amazonas (1999). Professora Adjunto C, da Faculdade de Direito da Universidade Federal do Amazonas, desde 2009, atuando principalmente nas seguintes áreas: Direito Civil; Direito de Família; Direito das Sucessões. Chefe do Departamento de Direito Privado da Faculdade de Direito da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

## I. INTRODUÇÃO

Os corantes podem ser definidos como compostos orgânicos que têm cor e são usados para dar coloração a diferentes substratos, como cosméticos, papel, medicamentos, couro, pele, graxas, cabelos, ceras, plásticos e materiais têxteis. “Os corantes são basicamente compostos químicos que podem se conectar a superfícies ou tecidos para conferir cor” (YAGUB et al., 2014). Podem ser classificados de acordo com sua origem, e serem provenientes de fontes naturais ou sintéticas. Os corantes naturais são extraídos de fontes, incluindo plantas, animais e minerais. Eles foram usados principalmente durante a indústria têxtil inicial e incluem jaca, cebola, eucalipto, cúrcuma, gonda e hena.

Contudo, devido ao aumento populacional e às atividades industriais, o uso de corantes naturais está se tornando obsoleto, pois não conseguem atender à demanda industrial, portanto, sua aplicação hoje em dia é encontrada principalmente na indústria alimentícia. Diante disso, os corantes sintéticos substituíram os corantes naturais quase completamente, principalmente nos tecidos e na indústria têxtil. Vários tipos são usados em inúmeras indústrias e estes incluem corantes básicos, ácidos, reativos, diretos, de cuba e dispersos, podendo conter traços de metais como cromo, cobre, chumbo, zinco e cobalto (GUPTA et al., 2009).

O primeiro corante orgânico sintético, a malveína, foi descoberto por William Perkin em 1865. Essa descoberta levou a uma revolução na indústria de corantes e iniciou a produção de corantes orgânicos sintéticos em escala global. Cerca de 10.000 corantes orgânicos sintéticos estão disponíveis em todo o mundo, contando com uma produção anual superior a 106 toneladas, sendo o Reino Unido, a Alemanha, os Estados Unidos, o Brasil, a Índia e a China os produtores dominantes aplicação (PEREIRA; ALVES, 2012).

Esses compostos são altamente solúveis em água e amplamente utilizados para conferir cor a alimentos, produtos farmacêuticos e cosméticos, além de fotografias, papel, tintas e têxteis. No entanto, essa indústria gera grandes quantidades de águas residuais contendo produtos químicos perigosos descarregados no ambiente aquático.

A presença de cor em um ecossistema, principalmente aquático, reduz a penetração da luz solar em organismos bentônicos, limitando assim o processo de fotossíntese. Os corantes também afetam o valor estético de um ecossistema aquático devido à coloração dos recursos hídricos (YAGUB et al., 2014). Outra preocupação no tratamento de águas residuais é a liberação de corantes e seus metabólitos no ambiente, pois alguns podem ser mutagênicos e cancerígenos. Alguns desses corantes são xenobióticos por natureza e aerobicamente

recalcitrantes à biodegradação e, portanto, representam uma ameaça quando as águas residuais são descartadas no ambiente adjacente sem serem tratadas (GUPTA et al., 2009). Nesse sentido, há uma necessidade de encontrar tecnologias de tratamento que possam descolorir a água e, ao mesmo tempo, reduzir os efeitos tóxicos dos corantes para dentro das diretrizes de qualidade da água recomendadas.

Neste contexto, a questão central a ser tratada é: como tornar os corantes sintéticos menos agressivos ao meio ambiente? Essa problemática está diretamente relacionada ao princípio do desenvolvimento sustentável, que exige soluções inovadoras para mitigar os impactos ambientais sem comprometer a funcionalidade e a eficiência dos produtos químicos.

Portanto, o presente artigo busca contextualizar os desafios ambientais associados aos corantes sintéticos, revisar soluções propostas na literatura e avaliar as contribuições de legislações e princípios sustentáveis para minimizar os danos causados pelos corantes sintéticos.

## 2. CONTEXTO HISTÓRICO DOS CORANTES

A cor tem sido utilizada desde os tempos pré-históricos como um meio de comunicação visual, expressão artística e simbólica, estando intimamente ligada ao desenvolvimento cultural da humanidade. Estudos apontam que o uso de cores em diferentes contextos pré-históricos refletia não apenas habilidades artísticas, mas também cognição avançada. Alguns especialistas sugerem que a coloração fazia parte de sistemas simbólicos compartilhados por diversas sociedades ao longo da história.

Os primeiros pigmentos foram produzidos misturando materiais como solo, água, saliva ou gordura animal, usados para colorir superfícies e, possivelmente, para marcar a pele em rituais ou como proteção contra o sol e insetos. Pesquisas sugerem que o ocre vermelho, além de seu uso estético, pode ter sido incluído na dieta humana como fonte de ferro essencial para o desenvolvimento físico (HODGSKISS; WADLEY, 2017).

A evolução do uso de pigmentos se intensificou com a produção de cores extraídas de minerais, vegetais e insetos em diferentes civilizações. Durante a Idade Média, destacou-se o uso de tonalidades brilhantes e bem definidas, apesar do desenvolvimento limitado de novos corantes. Na Renascença, avanços culturais e artísticos incentivaram a produção de cores acessíveis, como a dourada, utilizando técnicas como o uso de folhas de metal (HODGSKISS; WADLEY, 2017).

Ao longo dos anos, com o avanço científico, já houve o surgimento de novos tons. Em 1630, Cornelius Drebbel combinou vermelho de cochonilha com estanho para aumentar a estabilidade de corantes naturais, marcando o início da transição para corantes sintéticos. Em 1704, Diesbach sintetizou o pigmento Red Lake, abrindo caminho para outros avanços. Carl Scheele, em 1788, desenvolveu o pigmento Verde Esmeralda, apesar de sua alta toxicidade. Mais tarde, em 1826, Otto Unverdorben produziu anilina a partir da destilação do índigo, avanço que culminaria na criação do primeiro corante sintético, a malveína, derivado do alcatrão de hulha, patenteado por Henry Perkin em 1854 (ROBINSON et al., 2001).

Com o uso de derivados do alcatrão de hulha, a indústria expandiu-se rapidamente, substituindo corantes naturais por opções sintéticas mais acessíveis. Em 1869, a alizarina foi um dos primeiros corantes naturais a ser substituído. Desde então, mais de 100.000 corantes sintéticos foram desenvolvidos (PAZ et al., 2017), especialmente os destinados à indústria têxtil. Em suma, os corantes sintéticos utilizados nesse ramo, são substâncias com estrutura química que possuem em sua cadeia carbônica, um ou dois grupos cromóforos e auxocromos. O primeiro tem a função de dar uma cor específica ao corante, enquanto o segundo intensifica a cor deste com as fibras no arranjo de ligações químicas fortes. Podem ser classificados de acordo com sua estrutura e quanto ao método pelo qual é fixado à fibra têxtil (GUARATINI; ZANONI, 2000).

3975

Os principais grupos de corantes classificados pelo modo de fixação são: os corantes reativos, os diretos, os azóicos, os ácidos, corantes à cuba, baseados nos índigos, tio-índigóides e antraquinóides, os de enxofre, que se caracterizam apresentar uma ligação de polissulfetos, os pré-metalizados e os branqueadores. Enquanto os baseados na estrutura química, os principais cromóforos são: azo, azinas, atraquinonas, metino, xanteno, nitro, nitroso entre outros.

Em se tratando de legislação brasileira, a Resolução nº 44 de 1977 elaborada pela Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, do Ministério da Saúde define o conceito de corantes alimentícios, assim como os classificam em: orgânico natural, orgânico sintético, artificial, orgânico sintético idêntico ao natural, inorgânico, caramelo e caramelo (processo amônia):

1. DEFINIÇÃO: Para os efeitos desta Resolução, considera-se corante a substância ou a mistura de substâncias que possuem a propriedade de conferir ou intensificar a coloração de alimento (e bebida).
2. CLASSIFICAÇÃO: Os corantes serão classificados como:
  - 2.2. Corante orgânico sintético - aquele obtido por síntese orgânica mediante o emprego de processo tecnológico adequado.
    - 2.2.1. Corante artificial - é o corante orgânico sintético não encontrado em produtos naturais.

Embora os avanços técnicos tenham expandido a aplicação desses produtos em diversas áreas, os processos industriais também geraram desafios ambientais significativos, incluindo a contaminação hídrica, a liberação de compostos tóxicos e a resistência à biodegradação de muitos desses produtos.

### 3. POLUIÇÃO GERADA PELOS CORANTES SINTÉTICOS

#### 3.1. POLUIÇÃO AQUÁTICA

A água é o recurso mais importante para a vida no planeta e está atrelada ao desenvolvimento de um país, estado ou nação em vários aspectos, tais como: social, econômico, sanitário entre outros. No atual século, há um grande debate quanto a provável escassez dessa substância. Estima-se que mesmo estando presente em mais de 70% da superfície da Terra, somente 3% da água do planeta é doce, e destes apenas 0.5% está disponível para consumo da população. Enquanto, 2,5% estão aprisionadas em calotas polares, atmosfera, solo, não é potável ou é inviável a sua extração por estar muito abaixo da superfície (NOOR et al., 2023).

Outro fator que é alvo de preocupação da comunidade científica, são os diferentes tipos de contaminantes encontrados nos corpos hídricos, que podem afetar: a saúde humana, o ecossistema aquático e o meio ambiente, como: os poluentes orgânicos, inorgânicos, patógenos, metais potencialmente tóxicos, microrganismos, pesticidas, fertilizantes, ácidos orgânicos, compostos fenólicos, e principalmente, os corantes.

3976

A inquietação quanto a escassez de águas doces e potáveis, isentas de contaminantes, reforçou a necessidade em um debate mundial acarretando o surgimento de políticas públicas realizados pelos chefes de estado e líderes de governo internacionais. A Organização das Nações Unidas (ONU) por meio da Declaração Universal dos Direitos da Água de 1992, estipulou em seu art. 6º que: a água é um bem que não deve ser desperdiçada, nem poluída, nem envenenada e sua utilização deve ser feita com consciência e discernimento para evitar o esgotamento ou deterioração da qualidade das reservas atualmente disponíveis”.

Além disso, a ONU estabeleceu como meta 6, água potável e saneamento, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 no Brasil, que visa dentre outros, proteger o meio ambiente e o clima para garantir a paz e prosperidade das pessoas. Para atingir esse objetivo foram tratados planos que envolvem o melhoramento da qualidade de água, redução da poluição, minimização da liberação de produtos químicos e materiais perigosos, redução das

águas residuais não tratadas, aumento da reciclagem e a restauração de ecossistemas relacionados com a água (montanhas, florestas, rios, aquíferos etc.).

O aumento da poluição pode ser atribuído a migração da população rural para os grandes centros urbanos, cujas cidades adensadas e carentes de processos eficientes para atender a demanda de serviços públicos, como o saneamento, são fontes de efluentes contendo compostos com elevado potencial poluidor. Porém, a principal fonte de poluentes nos corpos aquáticos são os descartes inadequados dos diferentes tipos de resíduos sólidos (lodos) provenientes dos tratamentos de água realizados nas indústrias de: couro, pigmentos, têxtil, automobilística, agricultura, metalúrgicas, petroquímicas, civil, as atividades agroindustriais, dentre outros (RAJ; SINGH; BHATTACHARYA, 2023).

Os corantes presentes nesses lodos, especialmente os orgânicos, são estáveis na natureza, ou seja, podem ser carreados por longas distâncias com possibilidade de depositar-se em diferentes partes do percurso, o que contribui para o aumento da toxicidade em diferentes níveis do ecossistema. Os corantes azos e antraquinonas liberam substâncias tóxicas para os organismos aquáticos e causam eutrofização, além de causarem deficiência na fotossíntese em nestes ecossistemas. Além disso, a exposição aos contaminantes orgânicos pode causar diversas enfermidades aos animais e seres humanos como câncer, má-formação do feto, diabetes, doenças cardíacas etc (GUARATINI; ZANONI, 2000).

3977

### 3.2. POLUIÇÃO CAUSADA PELOS CORANTES SINTÉTICOS TÊXTEIS

A produção e o uso de corantes sintéticos têxteis contribuem substancialmente para a poluição ambiental, especialmente em ecossistemas aquáticos. Estima-se que aproximadamente 20% dos materiais utilizados no tingimento de fibras têxteis não são fixados e acabam sendo descartados nos efluentes industriais, resultando em águas residuais visivelmente contaminadas. Outro fator alarmante é que aproximadamente 1.84 bilhões de toneladas de lodos provenientes dessa indústria são descartados sem nenhum tipo de tratamento, a cada ano (RENDÓN-CASTRILLÓN et al., 2023).

A indústria têxtil, responsável por mais da metade do consumo global de corantes sintéticos, apresenta 54% dos descartes de corantes nos corpos aquáticos, obtendo valor maior que todas as outras indústrias, divididas em 21% para indústria de tintas, 10% para papel e celulose, 8% para indústria de pintura e curtume e 7% para fabricação de corantes. O impacto

ambiental negativo é iminente, já que essa indústria utiliza cerca de 10.000 diferentes pigmentos têxteis com índices de cores variados. (VELUSAMY et al., 2021).

No Brasil, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil (ABIT), esse ramo possui um faturamento de R\$ 190 bilhões no Brasil, com produção de vestuário, meias e acessórios, linhas para o lar e artigos técnicos de 8,1 bilhões de toneladas. Além de gerar cerca de 8 milhões de trabalhos diretos e indiretos, sendo 16,75% desse total de empregos formais.

O processo de tingimento é uma das etapas mais críticas da etapa fabril de tecidos, tanto pelo consumo de recursos quanto pela geração de resíduos. Diversos sais e produtos químicos são empregados para melhorar a adsorção dos corantes nas fibras. No entanto, estima-se que entre 10% e 15% dos corantes aplicados não se fixam aos tecidos e são diretamente liberados nos efluentes industriais. Como consequência, cerca de 2% a 20% dos corantes utilizados são descarregados como resíduos líquidos em corpos d'água, resultando em poluição hídrica e degradação dos ecossistemas (CARMEN; DANIELA, 2012).

Devido ao alto poder tintorial dos corantes, mesmo em concentrações inferiores a 1 mg L<sup>-1</sup>, a coloração da água é visível, tornando-a imprópria para consumo humano e dificultando sua reutilização. Além disso, a indústria têxtil demanda grandes volumes de água e insumos químicos. Estima-se que a produção de 1 kg de tecido utilize entre 50 e 90 g de corante e aproximadamente 200 litros de água (R ANANTHASHANKAR, 2013).

3978

Globalmente, cerca de 280 mil toneladas de corantes têxteis são lançadas no meio ambiente anualmente, persistindo nos ecossistemas quando os efluentes não recebem tratamento adequado (BERRADI et al., 2019). A Tabela 1 detalha alguns poluentes que podem estar presentes nas seguintes etapas do processo produtivo para tecidos de algodão (HOLKAR et al., 2016).

**Tabela 1.** Poluentes produzidos por etapa do processo produtivo em tecidos de algodão. Adaptado de HOLKAR et al. (2016).

| Etapa do processo produtivo | Poluentes produzidos em cada etapa do processo produtivo têxtil úmido  |
|-----------------------------|--|
| Desengomagem                | Goma, enzimas, amido e ceras   |
| Lavagem                     | Hidróxido de sódio (NaOH), surfactantes, sabões, gorduras, pectina, óleos, gomas e ceras   |
| Branqueamento               | Peróxido de Hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), silicato de sódio (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ), estabilizadores orgânicos, e álcalis |
| Tingimento                  | Corantes, metais, sais, surfactantes, ácidos e álcalis   |
| Estampagem                  | Corantes, metais, ureia, formaldeído e solventes   |
| Acabamento                  | Amaciantes, solventes, resinas e ceras   |

Diante desse cenário, a poluição resultante da indústria têxtil não apenas gera alterações estéticas, como a coloração visível das águas, mas também compromete a qualidade desses recursos. Os resíduos liberados afetam diretamente a concentração de oxigênio dissolvido, além de alterar parâmetros físico-químicos e biológicos, como a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos dissolvidos totais (SDT) e fósforo total (TFP) (RAMOS et al., 2021).

Muitos desses compostos são potencialmente cancerígenos, mutagênicos e tóxicos para os ecossistemas, com efeitos agravados pela presença de metais pesados e poluentes orgânicos em sua composição. A toxicidade, no entanto, pode variar de acordo com a estrutura química do corante e sua concentração de exposição, sendo possível que esses compostos permaneçam no meio ambiente por até 50 anos ou mais (FERRAZ; GRANDO; OLIVEIRA, 2011).

Os efluentes têxteis contêm uma variedade de poluentes químicos e físicos que comprometem a qualidade da água. Além de sais, álcalis, agentes dispersantes e metais potencialmente tóxicos, esses resíduos apresentam parâmetros críticos, como turbidez, pH alterado, SDT, DQO e DBO (RAMOS et al., 2021). A Tabela 2 ilustra as características físico-químicas desses efluentes, demonstrando as elevadas concentrações de DQO e SDT nos efluentes brasileiros, indianos e colombianos, que resultam em degradação severa dos ecossistemas aquáticos e comprometem o uso sustentável da água.

**Tabela 2.** Características físico-químicas dos efluentes têxteis.

| Parâmetros                          | Valores             |                   |  |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|--|
|                                     | Brasil              | Índia             | Colômbia                                     |
| pH                                  | 5,1 a 11,8          | 10±1              | 9,96   |
| DQO mg L <sup>-1</sup>              | 3222,6              | 1680±10           | 865  |
| DBO mg L <sup>-1</sup>              | 1004,1              | -                 | 118  |
| Total de sólidos mg L <sup>-1</sup> | 7921,4              | 3850±50           | 2464   |
| Turbidez NTU                        | 467,5               | 135±10            | 184  |
| Cor                                 | -                   | Marrom escuro     | Preto  |
|                                     | RAMOS et al. (2021) | RAI et al. (2023) | GILPAVAS; DOBROSZ-GÓMEZ; GÓMEZ-GARCÍA (2017) |

Diante deste cenário, torna-se imprescindível adotar estratégias efetivas para mitigar os impactos dos corantes sintéticos no meio ambiente e na saúde humana. Tecnologias como eletrocoagulação, osmose reversa, adsorção e processos fotocatalíticos vêm sendo amplamente estudadas para o tratamento de efluentes têxteis. Além disso, o uso de soluções biológicas, como microalgas e fungos, tem demonstrado grande potencial para a remoção de contaminantes e metais pesados. Mediante o exposto, a implementação de políticas públicas mais rígidas, aliada à conscientização das indústrias e ao desenvolvimento de alternativas biodegradáveis, é fundamental para garantir um equilíbrio entre o crescimento econômico e a preservação ambiental.

#### 4. PRINCÍPIO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

##### 4.1. DEFINIÇÃO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O princípio do desenvolvimento sustentável está consagrado na Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 (Princípio 4), que busca equilibrar crescimento econômico, preservação ambiental e bem-estar social:

PRINCÍPIO 4: A fim de alcançar o desenvolvimento sustentável, a proteção do meio ambiente deverá constituir-se como parte integrante do processo de desenvolvimento e não poderá ser considerada de forma isolada.

3980

Este princípio foi conceituado, primeiramente, no Relatório Nosso Futuro Comum de 1987, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU, que descreve desenvolvimento sustentável como:

[...] aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades. Ele contém dois conceitos-chave: o conceito de “necessidades”, sobretudo as necessidades essenciais dos pobres do mundo, que devem receber a máxima prioridade; a noção das limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõe ao meio ambiente, impedindo-o de atender às necessidades presentes e futuras.”

Nesse sentido, Sarlet (2023, p. 289), nos esclarece:

A ideia de sustentabilidade encontra-se, portanto, vinculada à proteção ecológica, já que manter (e, em alguns casos, recuperar) o equilíbrio ambiental implica o uso racional e harmônico dos recursos naturais, de modo a, por meio de sua degradação, também não os levar ao seu esgotamento.

Dessa forma, deve-se levar em consideração não apenas o aspecto econômico, isoladamente, no desenvolvimento de um Estado, mas que haja harmonia entre a utilização dos recursos naturais, de modo que este desenvolvimento seja ambientalmente sustentável. Desse modo, a legislação brasileira previu na Constituição Federal de 1988, mesmo que implicitamente o Princípio do desenvolvimento sustentável nos Art. 225 e Art. 170, VI:

Art. 225 Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Art. 170. (...) omissis

VI - defesa do meio ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação;

Reforçando o cumprimento deste princípio, a Declaração sobre o Direito ao Desenvolvimento (1986), da qual o Brasil é signatário, reforça em seu art. 1º, § 1º que:

O direito ao desenvolvimento é um direito humano inalienável, em virtude do qual toda pessoa e todos os povos estão habilitados a participar do desenvolvimento econômico, social, cultural e político, a ele contribuir e dele desfrutar, no qual todos os direitos humanos e liberdades fundamentais possam ser plenamente realizados.

#### 4.2. NOVAS TECNOLOGIAS NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS DOS CORANTES

Quando aplicado à indústria química e, especificamente, aos corantes sintéticos, esse princípio destaca a necessidade de soluções que reduzam impactos negativos no meio ambiente sem comprometer a funcionalidade e a eficiência dos produtos. Nesse sentido, diversas iniciativas sustentáveis têm sido desenvolvidas, como o uso de tecnologias mais limpas para produção e tratamento de efluentes, a substituição gradual por corantes biodegradáveis e a otimização dos processos industriais existentes. Os métodos de tratamento de efluentes podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos, sendo que cada abordagem apresenta vantagens e limitações específicas.

Os tratamentos físicos, por exemplo, são amplamente utilizados devido à sua simplicidade e eficácia. Esses métodos incluem adsorção, flotação, sedimentação, irradiação, filtração por membrana e osmose reversa. Embora sejam eficientes, esses processos não destroem os corantes, podendo gerar lodo perigoso de difícil remoção e tratamento. Ainda assim, são viáveis para substâncias que formam subprodutos mais tóxicos durante tratamentos químicos (KATHERESAN; KANSEDO; LAU, 2018).

Por outro lado, os tratamentos químicos, como ozonização, sonólise, coagulação, eletroquímica e processos de oxidação avançados, são eficazes na degradação de corantes. No entanto, esses métodos demandam alto consumo de substâncias oxidantes, como cloro e ozônio, além de custos elevados em larga escala devido à necessidade de equipamentos especializados e alto consumo energético (KHATTAB; ABDELRAHMAN; REHAN, 2020). Assim, uma

alternativa promissora tem sido o uso de sistemas híbridos, que combinam tratamentos físicos e químicos, proporcionando maior eficiência na remoção de cor e redução da contaminação.

Os métodos biológicos, por sua vez, surgem como alternativas ecológicas e economicamente viáveis. A biodegradação desse tipo de poluente por microrganismos, como fungos de podridão branca, *Sphingomonas* e cepas de *Pseudomonas*, tem se mostrado eficiente sob condições aeróbicas, anaeróbicas ou mistas. Esses processos produzem menos lodo residual, mas a resistência estrutural dos corantes sintéticos à degradação biológica representa um desafio (PAZ et. al., 2017). O isolamento de novas cepas ou a adaptação das existentes à decomposição de corantes é uma perspectiva promissora para aumentar a eficácia da biorremediação no futuro.

Assim, a combinação de tecnologias híbridas, aliada ao avanço de tratamentos biológicos, representa um caminho viável para o tratamento eficiente dos corantes sintéticos, conciliando a produção industrial com a preservação ambiental. No entanto, é essencial que essas soluções tecnológicas estejam acompanhadas por políticas públicas efetivas e rigorosas regulamentações ambientais. A Diretiva-Quadro da Água, na União Europeia, e as Resoluções do CONAMA, no Brasil, são exemplos de legislações que estabelecem parâmetros para controle de poluentes. Contudo, lacunas na implementação e fiscalização dessas normas ainda representam desafios significativos para a gestão ambiental eficiente.

3982

A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) preceitua que é essencial o uso de tecnologias limpas e pesquisas nacionais que incentivem o uso racional dos recursos ambientais e a minimização de impactos negativos. Nesse sentido, a degradação ecológica causada pelos corantes contraria o disposto no art. 4º, inciso I, que busca compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com a preservação ambiental.

A relação entre desenvolvimento sustentável e a disposição inadequada de corantes sintéticos em efluentes demonstra um desafio significativo tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. De acordo com o art. 225, § 1º, V da Constituição Federal, é dever do Poder Público por meio de controle, evitar que haja degradação dos corpos hídricos com substâncias tóxicas, como os corantes sintéticos, pois caso ocorra, estará violando o direito fundamental a um meio ambiente equilibrado:

Art. 225. (...) omissis

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente.

Além disso, o lançamento inadequado de efluentes contendo esses corantes compromete a qualidade da água, afeta a biodiversidade aquática e pode tornar-se um risco para a saúde pública ao contaminar recursos destinados ao abastecimento humano. A toxicidade e a persistência desses poluentes em corpos d'água geram desequilíbrios no ecossistema, aumentando a DBO e a DQO. Esses compostos recalcitrantes, muitas vezes não biodegradáveis, afetam os níveis de oxigênio dissolvido e impedem o desenvolvimento de organismos aquáticos essenciais à cadeia alimentar, levando à perda de biodiversidade. Como consequência, há impactos diretos sobre a saúde humana, uma vez que águas contaminadas comprometem não apenas o consumo, mas também atividades econômicas dependentes desses recursos, como a pesca e a agricultura.

Portanto, o lançamento inadequado de corantes sintéticos em corpos d'água configura uma violação do princípio do desenvolvimento sustentável, conforme previsto nas legislações brasileiras e nos tratados internacionais. A adoção de tecnologias limpas, o tratamento eficiente de efluentes e o fortalecimento das políticas públicas são ações fundamentais para garantir que a atividade industrial esteja alinhada aos objetivos da sustentabilidade. Esse compromisso é indispensável para proteger os recursos naturais, assegurar a saúde da população e respeitar o princípio da justiça intergeracional, deixando um legado ambiental equilibrado para as gerações futuras. A integração entre regulamentações sólidas, desenvolvimento industrial consciente e o aprimoramento contínuo das tecnologias de tratamento oferece uma solução viável para reduzir os impactos negativos dos corantes sintéticos e promover a preservação dos recursos naturais.

## 5. LEGISLAÇÃO VIGENTE E A NECESSIDADE DE REDUZIR A AGRESSIVIDADE DOS CORANTES SINTÉTICOS AO MEIO AMBIENTE

A disposição inadequada de corantes sintéticos orgânicos representa um dos maiores desafios ambientais associados à industrialização, particularmente no Brasil, onde setores como o têxtil, alimentício e de papel são responsáveis por grande parte dos resíduos líquidos. Para mitigar os impactos ambientais causados pelo descarte desses compostos, o país conta com um arcabouço legal que regulamenta tanto a qualidade dos corpos d'água quanto o tratamento de efluentes industriais.

A Lei de Crimes Ambientais, Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, é um marco na legislação ambiental brasileira. Promulgada com o objetivo de consolidar e fortalecer a proteção ao meio ambiente, a lei define condutas lesivas ao patrimônio ambiental e estabelece sanções

rígidas para indivíduos e empresas que descumprem as normas de preservação ambiental. A lei tipifica uma ampla gama de crimes, incluindo a poluição que cause danos à saúde humana ou ao meio ambiente (art. 54) e o descarte inadequado de resíduos sólidos ou líquidos, que pode incluir corantes sintéticos:

Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora:

§ 2º Se o crime:

- I - tornar uma área, urbana ou rural, imprópria para a ocupação humana;
- II - causar poluição atmosférica que provoque a retirada, ainda que momentânea, dos habitantes das áreas afetadas, ou que cause danos diretos à saúde da população;
- III - causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade;
- IV - dificultar ou impedir o uso público das praias;
- V - ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos:

Destaca-se ainda, a Resolução CONAMA nº 430/2011, elaborada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e publicada em 13 de maio de 2011. Ela estabelece condições, padrões e critérios para o lançamento de efluentes líquidos provenientes de qualquer fonte poluidora em corpos hídricos, garantindo a compatibilidade com os usos preponderantes desses recursos e a preservação da sua qualidade ambiental:

Art. 2º A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Art. 3º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

A Resolução define, ainda, parâmetros rigorosos para o lançamento de efluentes, incluindo limites de pH, temperatura e concentração de óleos minerais e materiais sedimentáveis. Esses padrões visam minimizar os impactos ambientais causados pelos efluentes industriais, incluindo aqueles contendo corantes sintéticos, que frequentemente apresentam características recalcitrantes e persistentes no meio ambiente. Dentro os parâmetros específicos para que os efluentes de qualquer fonte poluidora possam ser lançados diretamente nos corpos receptores (Art. 16), tem-se:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

Tem-se ainda no Brasil outras legislações específicas quanto à regulação ambiental sobre o lançamento de efluentes contendo substâncias potencialmente poluentes, como a Resolução CONAMA nº 357/2005, que define critérios e padrões de qualidade para os corpos de água, e a Lei nº 12.305/2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essas normativas complementam-se ao oferecer diretrizes para a proteção dos recursos hídricos e o manejo sustentável de resíduos industriais.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, publicada em 17 de março de 2005, é uma das normativas mais relevantes para a proteção dos corpos d'água no Brasil. Ela estabelece a classificação dos corpos de água e os padrões de qualidade para o lançamento de efluentes, visando garantir o equilíbrio ecológico e a preservação dos usos preponderantes dos recursos hídricos. A resolução exige, no art. 24, que as fontes poluidoras realizem o monitoramento contínuo dos seus efluentes e adotem medidas preventivas para mitigar os impactos ambientais. A fiscalização cabe aos órgãos ambientais estaduais e municipais, que podem aplicar sanções em caso de descumprimento:

Art. 24°. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento: I - acrescentar outras condições e padrões, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais, mediante fundamentação técnica; e

II - exigir a melhor tecnologia disponível para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo curso de água superficial, mediante fundamentação técnica.

Enquanto a Lei nº 12.305/2010, que institui a PNRS, complementa as disposições da referida Resolução ao estabelecer diretrizes abrangentes para o gerenciamento de resíduos, incluindo aqueles gerados por processos industriais. Essa legislação é fundamental para a promoção de práticas sustentáveis e para a mitigação dos impactos ambientais associados ao

descarte inadequado de resíduos perigosos, como os efluentes contendo corantes sintéticos orgânicos.

A PNRS destaca a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo fabricantes, distribuidores, consumidores e o poder público. Essa abordagem incentiva o desenvolvimento de tecnologias limpas e sistemas de tratamento mais eficientes para minimizar a geração de resíduos e garantir sua destinação ambientalmente adequada. Além disso, a lei introduz instrumentos como a logística reversa, que busca reintegrar materiais descartados ao processo produtivo, reduzindo a necessidade de novos recursos naturais.

No contexto industrial, a Lei nº 12.305/2010 exige que os geradores de resíduos implementem ações para garantir o manejo seguro e a conformidade ambiental. O art. 30 da lei reforça a obrigatoriedade do tratamento e disposição adequada de resíduos perigosos, apontando que esses devem ser gerenciados de forma a preservar o meio ambiente e prevenir riscos à saúde pública:

Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.

Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;

II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;

III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;

IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;

V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;

VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;

VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.

Para os corantes sintéticos, essa disposição é crucial, uma vez que eles apresentam alta estabilidade química e podem contaminar corpos d'água e o solo caso não sejam tratados adequadamente. Além disso, ao integrar a PNRS com a Resolução CONAMA nº 357/2005, criou-se uma estrutura normativa robusta, que não apenas regulamenta os padrões de qualidade da água, mas também incentiva práticas sustentáveis na gestão de resíduos industriais. Essa

sinergia é essencial para enfrentar os desafios associados aos impactos ambientais dos corantes sintéticos, promovendo a proteção dos recursos naturais e a sustentabilidade dos processos produtivos no Brasil.

As legislações e resoluções abordadas formam um arcabouço normativo robusto que visa à proteção ambiental e à gestão sustentável de resíduos no Brasil. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os critérios de qualidade para corpos d'água e regulamenta o lançamento de efluentes, enquanto a Resolução CONAMA nº 430/2011 detalha as condições para o descarte, reforçando a necessidade de tratamentos que minimizem os impactos aos ecossistemas aquáticos. Complementarmente, a Lei nº 12.305/2010, ao instituir a Política Nacional de Resíduos Sólidos, amplia a abordagem ao incorporar a responsabilidade compartilhada e instrumentos como a logística reversa, fundamentais para a gestão eficiente de resíduos perigosos, como os efluentes contendo corantes sintéticos.

Essas normativas, ao atuarem de forma integrada, oferecem diretrizes para prevenir a degradação ambiental e proteger os recursos hídricos, assegurando que as práticas industriais estejam alinhadas aos princípios da sustentabilidade. Juntas, reforçam a necessidade de controle rigoroso, tecnologias avançadas de tratamento e monitoramento contínuo, promovendo a preservação da biodiversidade e o uso racional dos recursos naturais. Assim, o cumprimento dessas leis é essencial para equilibrar desenvolvimento econômico e proteção ambiental, garantindo um futuro sustentável. Por outro lado, não há, atualmente, no Brasil, nenhuma norma específica que trata da destinação correta dos corantes sintéticos no ambiente, especialmente os da indústria têxtil.

Com isso, para reduzir a agressividade dos corantes sintéticos ao meio ambiente, é fundamental que haja a aplicação rigorosa das leis vigentes em conjunto com o investimento em tecnologias limpas, o desenvolvimento de alternativas biodegradáveis e a conscientização sobre práticas sustentáveis, assim como uma nova normativa que seja específica para descarte correto de corantes sintéticos no ambiente. A colaboração entre governos, indústrias e sociedade civil se torna essencial para alcançar esses objetivos e garantir a preservação dos recursos hídricos para as futuras gerações.

## 6. CONCLUSÃO

Este artigo procurou analisar os desafios associados ao uso de corantes sintéticos, contextualizando sua evolução histórica e seus impactos no meio ambiente, particularmente em

ecossistemas aquáticos. A partir dessa análise, destacou-se a necessidade de integrar soluções sustentáveis que minimizem os danos causados por esses compostos, sem comprometer sua funcionalidade e eficiência industrial.

Os objetivos propostos neste estudo enfatizam a importância de compreender os impactos ambientais dos corantes sintéticos e explorar alternativas que possam mitigar esses efeitos. Entre as propostas analisadas, destacam-se a implementação de legislações mais rigorosas, o desenvolvimento de tecnologias limpas e o incentivo ao uso de corantes biodegradáveis. Além disso, ressaltou-se a relevância de educar a sociedade sobre práticas de consumo consciente e a importância de preservar os recursos naturais.

Futuras iniciativas devem concentrar-se em ampliar os investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novos materiais menos agressivos ao meio ambiente, bem como aprimorar os métodos de tratamento de efluentes industriais. A integração de tratamentos híbridos que combinem processos físicos, químicos e biológicos pode ser uma estratégia eficaz para aumentar a eficiência na remoção de poluentes.

Em suma, é essencial reforçar a cooperação entre governos, indústrias e instituições de pesquisa para estabelecer um equilíbrio entre crescimento econômico e conservação ambiental. Devido ao fato de que, apenas com ações conjuntas será possível alcançar um futuro mais sustentável, garantindo a preservação dos ecossistemas e a qualidade de vida das gerações futuras.

3988

## REFERÊNCIAS

BERRADI, M. et al. Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. *Heliyon*, v. 5, n. 11, 1 NOV. 2019.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acessado em 05 dez. 2024.

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. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm)>. Acessado em 06 dez. 2024.

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. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm)>. Acessado em 29 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acessado em 02 dez. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005** Publicada no DOU em 18/03/2005 - 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. Disponível em: < [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)>. Acessado em 10 dez. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011** Publicada no DOU em 16/05/2011 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>. Acessado em 01 dez. 2024.

BRASIL. **Resolução Ministério da Saúde (MS) nº 44, de 25 de novembro de 1977** - Dispõe sobre as condições gerais de elaboração, classificação, apresentação, designação, composição e fatores essenciais de qualidade dos corantes empregados na produção de alimentos (e bebidas). Disponível em: < [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cnnpa/1977/res0044\\_00\\_00\\_1977.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cnnpa/1977/res0044_00_00_1977.html)>. Acessado em 10 dez. 2024.

CARMEN, Z.; DANIELA, S. Textile Organic Dyes – Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents – A Critical Overview. Em: PUZYN, T.; MOSTRAG-SZLICHTYNG, A. (Eds.). **Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention**. Rijeka: IntechOpen, 2012.

FERRAZ, E. R. A.; GRANDO, M. D.; OLIVEIRA, D. P. The azo dye Disperse Orange 1 induces DNA damage and cytotoxic effects but does not cause ecotoxic effects in *Daphnia similis* and *Vibrio fischeri*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 2, p. 628–633, 2011.

GILPAVAS, E.; DOBROSZ-GÓMEZ, I.; GÓMEZ-GARCÍA, M. Á. Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment. **Journal of Environmental Management**, v. 191, p. 189–197, 15 abr. 2017.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71–78, 2000.

GUPTA, P. et al. Genotoxicity evaluation of hospital wastewaters. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 7, p. 1925–1932, 2009.

HODGSKISS, T.; WADLEY, L. How people used ochre at Rose Cottage Cave, South Africa: Sixty thousand years of evidence from the Middle Stone Age. **PLOS ONE**, v. 12, n. 4, p. 1–24, 2017.

HOLKAR, C. R. et al. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 351–366, 1 nov. 2016.

KATHERESAN, V.; KANSEDO, J.; LAU, S. Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 4, p. 4676–4697, 2018.

KHATTAB, T. A.; ABDELRAHMAN, M. S.; REHAN, M. Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 4, p. 3803–3818, 2020.

NOOR, R. et al. A comprehensive review on water pollution, South Asia Region: Pakistan. **Urban Climate**, v. 48, p. 101413, 1 mar. 2023.

ONU, **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Nações Unidas Brasil. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 dez. 2024.

PAZ, A. et al. Biological treatment of model dyes and textile wastewaters. **Chemosphere**, v. 181, p. 168–177, 2017.

PEREIRA, L.; ALVES, M. Dyes---Environmental Impact and Remediation. Em: MALIK, A.; GROHMANN, E. (Eds.). **Environmental Protection Strategies for Sustainable Development**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. p. 111–162.

R ANANTHASHANKAR, A. G. Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. **Journal of Chemical Engineering & Process Technology**, v. 05, n. 01, p. 1–18, 2013. 3990

RAI, P. K. et al. Process optimization for textile industry-based wastewater treatment via ultrasonic-assisted electrochemical processing. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 122, p. 106162, 1 jun. 2023.

RAJ, S.; SINGH, H.; BHATTACHARYA, J. Treatment of textile industry wastewater based on coagulation-flocculation aided sedimentation followed by adsorption: Process studies in an industrial ecology concept. **Science of the Total Environment**, v. 857, p. 159464, 20 jan. 2023.

RAMOS, M. D. N. et al. A critical analysis of the alternative treatments applied to effluents from Brazilian textile industries. **Journal of Water Process Engineering** Elsevier Ltd, , 1 out. 2021.

RENDÓN-CASTRILLÓN, L. et al. Treatment of water from the textile industry contaminated with indigo dye: A hybrid approach combining bioremediation and nanofiltration for sustainable reuse. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 8, p. 100498, 1 dez. 2023.

ROBINSON, T. et al. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 3, p. 247–255, 2001.

SARLET, Ingo W.; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de Direito Ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2023.

VELUSAMY, S. et al. **A Review on Heavy Metal Ions and Containing Dyes Removal Through Graphene Oxide-Based Adsorption Strategies for Textile Wastewater Treatment. Chemical Record** John Wiley and Sons Inc, , 1 jul. 2021.

YAGUB, M. T. et al. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 209, p. 172–184, 2014.