

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA CENTRO DE EDUCAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA INDUSTRIAL  
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA  
INDUSTRIAL



MARIA LANGE GONZAGA DE SOUZA

**A QUÍMICA VERDE E O SEU IMPACTO NA INDÚSTRIA**

Campina Grande  
2022

MARIA LANGE GONZAGA DE SOUZA

**A QUÍMICA VERDE E O SEU IMPACTO NA INDÚSTRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em cumprimento parcial para obtenção do título de Bacharelado em Química Industrial do centro de educação da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

Orientador: Prof. José Arimatéia Nóbrega

Campina Grande

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S729q Souza, Maria Lange Gonzaga de.  
A química verde e o seu impacto na indústria [manuscrito] /  
Maria Lange Gonzaga de Souza. - 2022.  
31 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. José Arimatéia Nóbrega, UEPB - Universidade Estadual da Paraíba."

1. Indústria química. 2. Química verde. 3. Processos industriais. I. Título

21. ed. CDD 660

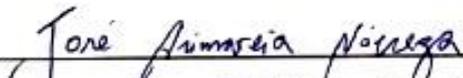
MARIA LANGE GONZAGA DE SOUZA

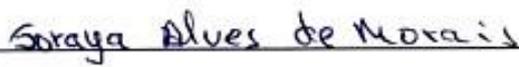
## A QUÍMICA VERDE E O SEU IMPACTO NA INDÚSTRIA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado em cumprimento parcial  
para obtenção do título de  
Bacharelado em Química Industrial  
do centro de educação da  
Universidade Estadual da Paraíba –  
UEPB.

Aprovada em: 09/12/2022.

### BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. José Arimatéia Nóbrega (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Profa. Dra. Soraya Alves de Moraes  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Campina Grande

2022

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida

Aos meus pais por estarem comigo durante toda esta caminhada acadêmica

Aos meus familiares pela compreensão por minha ausência nas reuniões familiares.

Aos professores do Curso de Química Industrial da UEPB, que contribuíram com meu aprendizado, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador, José Arimatéia Nóbrega, pela dedicação ao nosso trabalho e auxílio na elaboração do mesmo.

Aos funcionários da Coordenação do curso de Química Industrial da UEPB pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

## RESUMO

A indústria química vem se destacando nas últimas décadas, e ganhando destaque a nível nacional e mundial, principalmente pelos danos que oferece ao meio ambiente a partir de seus processos, havendo a grande necessidade de intervenções para minimizar os problemas oriundos deste setor. Muitas das desordens climáticas que o mundo enfrenta podem ter início durante os processos da indústria química que é responsável por algumas das causas que vêm acarretando essa circunstância, porém, tem a obrigação de realizar estudos que possibilitem a reversão desta situação. Neste sentido a Química Verde surge em busca de processos alternativos que gerem menos poluição, resíduos, que apresentem alta eficiência energética, preze pelo uso de matérias primas renovável e gere produtos biodegradáveis e seguros para a sociedade e meio ambiente. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar as principais alternativas utilizando química verde nos processos industriais. Como metodologia, foram coletadas informações em artigos científicos publicados em periódicos, em congressos, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e cartilhas sobre o tema Química Verde visando identificar suas aplicações, princípios em procedimentos químicos industriais e vantagens em relação a procedimentos habituais.

**Palavras-chave:** Processos Químicos; Química Verde; Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

The chemical industry has stood out in recent decades, and gaining prominence at national and global level, mainly due to the harm it offers to the environment from its processes, with the great need for interventions to minimize the problems arising from this sector. Many of the climatic disorders that the world faces may begin during the processes of the chemical industry that is responsible for some of the causes that have caused this circumstance, however, it has the obligation to carry out studies that allow the reversal of this situation. In this sense, Green Chemistry arises in search of alternative processes that generate less pollution, waste, which present high energy efficiency, value the use of renewable raw materials and generates biodegradable and safe products for society and the environment. Thus, the present work aims to analyze the main alternatives using green chemistry in industrial processes. As a methodology, information was collected in scientific articles published in journals, in congresses, theses, dissertations, course completion papers and booklets on the theme Green Chemistry in order to identify its applications, principles in industrial chemical procedures and advantages in relation to usual procedures.

**Keywords:** Chemical Processes; Green Chemistry; Sustainability.

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
1.1.Contextualização .....	7
1.2.Objetivos .....	8
1.2.1.Objetivo geral .....	8
1.2.2.Objetivos específicos.....	8
<b>2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>9</b>
2.1.Química Verde .....	9
2.2.Breve Histórico da Química Verde .....	10
2.3.Princípios da Química Verde .....	13
2.3.1. Prevenção .....	13
2.3.2. Economia de átomos.....	13
2.3.3. Síntese Segura.....	14
2.3.4. Desenvolvimento de Produtos Seguros.....	14
2.3.5. Uso de Solventes e Auxiliares Seguros.....	14
2.3.6. Busca pela Eficiência de Energia .....	15
2.3.7. Uso de Fontes de Matéria-Prima Renováveis .....	15
2.3.8. Evitar a Formação de Derivados .....	15
2.3.9. Catálise .....	16
2.3.10. Produtos Degradáveis .....	16
2.3.11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição.....	16
2.3.12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes.....	17
2.4.Sustentabilidade.....	17
<b>3.METODOLOGIA</b> .....	<b>18</b>
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>19</b>
4.1.A Química Verde na indústria.....	19
4.1.1.Indústria da construção civil .....	20
4.1.2.Indústria do couro .....	23
4.1.3.Indústria de plástico e celulose.....	24
4.1.4.Indústria de fármacos .....	25
<b>5.CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>27</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>28</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

Na economia nacional, a indústria química tem uma importância ímpar por contribuir no cotidiano brasileiro através de produtos de suma importância para manutenção da vida tais como alimentos e fármacos, assim como cosméticos, produtos de higiene pessoal e energia (CORDEIRO *et al.*, 2018).

O termo sustentabilidade, inclui diversas perspectivas, das quais se encaixam os princípios da química verde quando, ao ser idealizado e confeccionado qualquer componente químico, este deve apresentar características relevantes de redução de agressão ao meio ambiente, seja por contaminação direta, seja por geração de resíduos.

Também conhecida como química sustentável ou química ambiental, a química verde adota técnicas que mantenham a eficiência do componente ou composto e em consórcio a isto, preserve o meio ambiente.

E, sabendo que estes princípios podem ser adotados em quaisquer que sejam as aplicações, a química verde está envolvida em pesquisas que vão desde a indústria da construção civil, indústria de fármacos, indústria de papel e celulose e obtenção de curo e seus artefatos.

Neste sentido, a partir da necessidade de serem utilizadas tecnologias limpas com intuito de adequar os processos industriais e as questões ambientais, assim como o desenvolvimento sustentável, o presente trabalho faz-se relevante, pois poderá incentivar a aplicação de novas tecnologias e processos nos quais haja menores gastos, menos desperdícios e produtos não prejudiciais ao meio e a sociedade.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo geral

Analisar as principais alternativas utilizando química verde nos processos industriais.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Elencar os principais processos industriais que utilizam a química verde;
- Analisar a eficiência desses processos;
- Avaliar a viabilidade da química verde na indústria de produção em larga escala.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Química Verde

Para Cordeiro *et al.* (2018), muitas das desordens climáticas que o mundo enfrenta pode ter início durante os processos da indústria química que é responsável por algumas das causas que vêm acarretando essa circunstância, porém, tem a obrigação de realizar estudos que possibilitem a reversão desta situação.

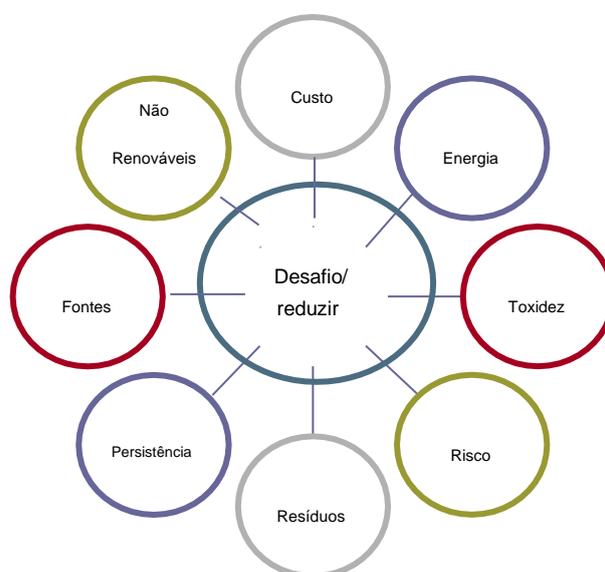
Logo, surge a Química Verde que, segundo Sousa, Silva e Costa (2020), tem conceito também definido pela IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry* - União Internacional de Química Pura e Aplicada) como sendo a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos que reduzem ou eliminam o uso e a produção de substâncias perigosas ao meio ambiente e aos seres humanos.

Ferreira, Rocha e Silva (2014) afirmam a partir do conceito supracitado, que a Química Verde é uma vertente da química que apresenta como objetivo primordial que os processos gerem redução de agentes poluidores e resíduos, que apresente alta eficiência energética e preze pela utilização de matérias-primas renováveis, gerando produtos biodegradáveis e seguros para a sociedade e o meio ambiente.

Paul Anastas e John Warner em 1990 normatizaram doze princípios da Química Verde, indicando as metodologias convenientes e que levam a um processo mais limpo e menos prejudicial. Estes princípios ainda se fundamentam na redução ou não utilização de solventes tóxicos nos processos e nas análises, assim como na não produção de resíduos desses processos.

Sobre os doze princípios, Cunha (2014) enfatiza que quando aplicados aos processos industriais, geram benefícios ambientais e econômicos, por resultarem na redução de gastos relacionados a armazenamento, tratamento de resíduos e contaminações, com o objetivo principal de buscar alternativas para reduzir os resíduos gerados (Figura 1).

Figura 1 - Desafios da Química Verde



Fonte: Adaptado de Novaes (2018)

Pelo fato da química ter sido comumente relacionada a problemas oriundos de atividades industriais desde o início do século XX, as consequências de seus processos reforçam a necessidade da redução de riscos sendo a Química Verde e a sustentabilidade temas relevantes no meio acadêmico.

A Química Verde é uma vertente das ações provenientes das atividades industriais que trazem a necessidade do tratamento adequado do resíduo, propondo novas e desafiadoras soluções, buscando alternativas que evitem ou minimizem a produção de resíduos, em detrimento da preocupação exclusiva com o tratamento do resíduo no fim da linha de produção (LENARDÃO *et al.*, 2003).

## 2.2. Breve Histórico da Química Verde

No contexto histórico da Química Verde, Serrão e Silva (2010) falam que a preservação do meio ambiente teve ênfase no final da década de 1960 e tomou impulso na década de 1970. Desde então tem sido constante a realização de encontros, debates e grandes conferências para a discussão

sobre o meio ambiente, mudanças climáticas, poluição, geração de resíduos, ou seja, têm se buscado soluções e novos valores éticos para reger questões sociais, econômicas e ambientais das quais depende o desenvolvimento de vários países.

O aumento no consumo de derivados de petróleo no início dos anos 70 levantou questões ambientais sobre as altas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, mudanças climáticas e os mais diversos danos irreparáveis à sociedade com estas práticas (MACHADO, 2008).

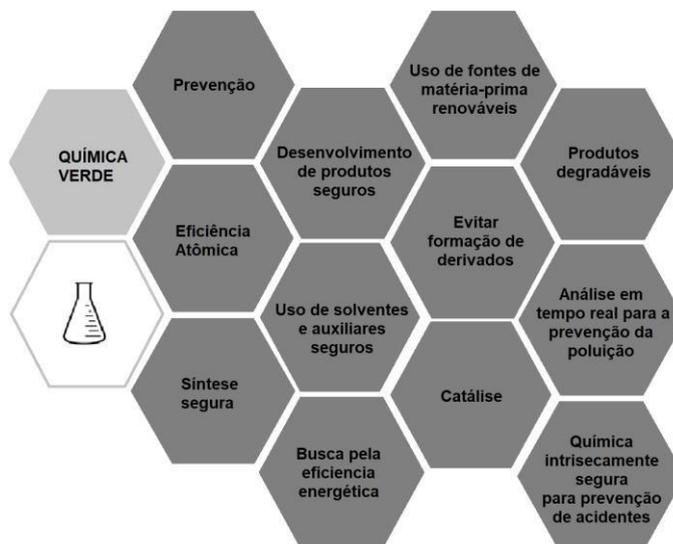
Ainda conforme Machado (2008), em meados da década de 70, na Europa, houve a primeira conferência a favor do uso de das tecnologias limpas liderado pela ONU, onde a partir deste fato surgiu a ideia da realização de grandes conferências sobre meio ambiente no âmbito do Sistema das Nações Unidas.

A partir de então, surgem às preocupações com a Química, de onde se originam muitos dos impactos ao meio ambiente oriundos dos métodos e processos industriais, do uso e manipulação dos produtos de consumo e embalagens e do uso de combustíveis.

Já em 1997, foi organizada a primeira Conferência Internacional em Química Verde, em Veneza pela IUPAC - *International Union for Pure and Applied Chemistry*. Em 2001, a IUPAC aprovou a criação do Subcomitê Interdivisional de Química Verde, realizando o Workshop sobre Educação em Química Verde (SERRÃO e SILVA, 2010).

Conforme Meirelles (2009) a química verde ou química para a sustentabilidade definida por Anastas e Warner já é comumente aplicada nas industriais de países que contém o controle rigoroso na emissão de poluentes e foi enfatizada na ECO-92, no Protocolo de Kyoto e na Rio+10 que foram iniciativas para o desenvolvimento da química em busca da auto-sustentabilidade, estando os 12 princípios (Figura 2) elencados pelos estudiosos pertinentes até os dias atuais.

Figura 2 - Princípios da Química Verde



Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2019).

Segundo Bazito (2009), o tema Química Verde foi abordado no Brasil com mais veemência no ano de 2006, na Universidade Federal de São Carlos, onde o Departamento de Química promoveu a 26ª Escola de Verão e em janeiro de 2007 o Instituto de Química da Universidade de São Paulo promoveu a primeira Escola de Verão em Química Verde.

No ano de 2010, foi lançado o livro “Química Verde no Brasil: 2010-2030” do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, escrito por diversos pesquisadores onde é possível verificar inúmeras discussões a respeito do potencial energético da biomassa brasileira e das tendências futuras dos estudos nesta área (SERRÃO e SILVA, 2010).

Sabe-se ainda que a relação direta da Química Verde com as práticas sustentáveis traz à tona as responsabilidades ambientais que, principalmente a indústria química tem, assim como as instituições de ensino, na difusão das boas práticas e preservação do meio ambiente (COSTA, 2011).

## 2.3. Princípios da Química Verde

Buscando obter processos em que o produto seja o mesmo, porém, gerando menos resíduos e danos, assim como reduzindo os contaminantes e prejuízos, os 12 princípios da Química Verde vislumbram processos industriais limpos, seguros e sustentáveis tanto para o meio ambiente quanto para a humanidade.

### 2.3.1. Prevenção

É o primeiro princípio da Química Verde e corresponde à prevenção sobre a formação de resíduos e de como tratá-los após a sua geração, investindo tecnologias limpa que utilizam menos solventes e necessidades de investimentos para tratamento dos resíduos gerados (ALENCAR, 2010).

Para Meirelles (2009), quando existem investimentos em tecnologias mais limpas de produção, reduz-se a necessidade de investimentos pesados no tratamento de resíduos, logo, a prevenção.

Sousa, Silva e Costa (2020) afirmam ainda que é mais barato realizar processos que não gerem resíduos do que implementar técnicas de tratamentopara redução dos possíveis danos causados.

### 2.3.2. Economia de átomos

Seguindo os princípios da Química Verde, a Economia de átomos diz respeito à incorporação máxima de átomos dos materiais reagentes nos produtos das reações onde é considerada a reação ideal aquela na qual há 100% de rendimento e não há formação de resíduos (RAMOS, 2009).

Embora grande parte dos produtos químicos não apresente um rendimento final considerado ideal, a economia de átomos permite um aumento percentual considerável no rendimento de uma reação química.

Meirelles (2009) enfatiza ainda que na economia dos átomos pode ser identificada a eficácia da reação através da divisão do peso molecular do produto desejado pelo obtido da soma de todas as substâncias produzidas nas equações estequiométricas envolvidas no processo.

Algumas reações químicas apresentam uma economia de átomos maior do que outras, podendo ser divididas nos seguintes grupos: a) Sínteses verdes: onde há economia de átomos (adição, rearranjos, reações envolvendo catálise); b) Sínteses marrons: onde há menor economia de átomos (substituição, eliminação, reações estequiométricas gerais).

### 2.3.3. Síntese Segura

Conforme Cunha (2014), o terceiro princípio é considerado o coração da Química Verde onde tem-se a síntese segura que é o processo químico onde possa ser utilizadas metodologias sintéticas que substituam compostos de alta toxicidade por compostos de menor toxicidade, fazendo com que sejam gerados pouco ou nenhum resíduos que possam ser, de algum modo, prejudiciais ao meio ambiente e humanidade.

### 2.3.4. Desenvolvimento de Produtos Seguros

Como quarto princípio tem-se o desenvolvimento de produtos seguros que é tido como extensão do princípio da Síntese Segura e é determinado pelo desenvolvimento de produtos a partir de reagentes de baixa toxicidade, onde apresenta por consequência a geração de produtos também de baixa toxicidade, como os reagentes da síntese (CORRÊA, 2012).

### 2.3.5. Uso de Solventes e Auxiliares Seguros

No quinto princípio, ficam estabelecidos que em processos químicos, devem ser utilizados a menor quantidade possível de solventes, e caso haja a necessidade de utilização, que sejam em quantidades mínimas ou que os próprios reagentes sirvam de solvente (RAMOS, 2009).

Sabendo-se disto, estão sendo realizadas pesquisas visando a substituição dos solventes orgânicos convencionais por solventes verdes, como fluidos supercríticos, líquidos iônicos à temperatura ambiente, hidrocarbonetos perfluorados e água, e neste sentido a química verde tem levado adiante

diversas investigações sobre este tema, incluindo a importância do uso de solventes no estado supercrítico e o uso de líquidos iônicos. (CASULLO, 2012).

#### 2.3.6. Busca pela Eficiência de Energia

O sexto princípio tem como objeto a eficiência de energia e conforme Cunha (2014) é aquela que tende a reduzir a energia gasta durante um procedimento químico representando um ganho econômico considerável, sendo oriundo de fontes não renováveis na indústria e a substituição das mesmas por fontes alternativas e renováveis.

#### 2.3.7. Uso de Fontes de Matéria-Prima Renováveis

A utilização de fontes de matéria-prima renováveis é o sétimo princípio e enfatiza a necessidade da utilização de matérias primas renováveis na indústria (MEIRELLES, 2009).

Ainda segundo Sousa, Silva e Costa (2020), as substâncias de origem vegetal ou biológica, podendo ser recicláveis ou renováveis, são recomendadas de serem utilizadas em todos os processos como exemplo o etanol, que derivado da cana de açúcar ou o biodiesel, substituem de maneira eficiente os derivados fósseis.

#### 2.3.8. Evitar a Formação de Derivados

No oitavo princípio, a formação de derivados deve ser evitada, pois durante os processos, quanto mais derivados mais processos, e quantos mais processos mais gastos e mais resíduos oriundos desta ação (RAMOS, 2009).

Ferreira, Rocha e Silva (2014) afirmam que os processos que envolvem intermediários com grupos bloqueadores, proteção ou qualquer modificação temporária da molécula por processos físicos e/ou químicos devem ser evitados para que não seja gerado aumento de resíduos.

### 2.3.9. Catálise

Para Sousa, Silva e Costa (2020), a “síntese ideal” está em evidência pois diversas pesquisas com catalisadores eficientes são desenvolvidas gerando processos limpos, seletivos, recicláveis e reutilizáveis, viáveis economicamente apesar de complexos.

Ramos (2009) incentiva a utilização de reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) em substituição aos reagentes estequiométricos para minimizar os resíduos gerados pelos processos.

### 2.3.10. Produtos Degradáveis

Com relação ao décimo princípio, fica explícita a necessidade do desenvolvimento de produtos químicos degradáveis e biodegradáveis com alto poder de segurança com relação a toxicidade como por exemplo as sacolas de compras biodegradáveis, que se decompõem com maior facilidade sobre condições ideais de temperatura e umidade (RAMOS, 2009).

### 2.3.11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição

A análise para a prevenção da poluição está enfatizada no décimo primeiro princípio da Química Verde e diz respeito aos processos de produção monitorados em tempo real para que qualquer desordem possa ser corrigida a tempo de evitar qualquer dano ou resíduo ao final do processo a fim de controlar a formação de subprodutos perigoso e de reações secundárias (RAMOS, 2009).

Cunha (2014) também alerta para o fato de que técnicas e metodologias de monitoramento oriundas da Química Verde, são de fundamental importância para reduzir os impactos ambientais decorrentes de análises químicas, em atividades de manufatura, pesquisa ou regulação, de instituições públicas ou privadas.

### 2.3.12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes

Para Ferreira, Rocha e Silva (2014) se houver o aumento dos riscos de acidentes quando durante os processos, deve haver a intenção de reduzir a quantidade de resíduos, e o processo necessita ser alterado para que haja eficiência.

Se não há reagentes tóxicos, não há solventes voláteis, se o processo foi desenvolvido com alta eficiência energética, e se foram utilizados catalisadores, os acidentes no procedimento químico é pequeno ou nulo e está em conformidade com os princípios da Química Verde.

## 2.4. Sustentabilidade

No quesito sustentabilidade, conforme Benedicto, Benedicto e Silva (2019), a Química Verde, também conhecida como Química Limpa, e objetiva implantar nos processos químicos ações que promovam:

- Redução de consumo de energia
- Redução dos dejetos (materiais que são descartados na natureza)
- Redução da toxicidade
- Redução do uso de fontes não renováveis
- Redução dos riscos de poluição ao meio ambiente
- Redução do uso de matéria-prima

Aguiar *et al.* (2020) enfatizam que o termo sustentabilidade seja talvez o mais importante da atualidade que utiliza o termo “verde” em inúmeros processos e produtos como por exemplo “Indústria verde”, “Energia verde” e “Tecnologias verdes”, passando a ideia direta da existência e necessidade de processos sustentáveis.

Zanotto, Marques e Castro (2021) afirmam que existe a necessidade no contexto da sustentável, de unificar a Pesquisa e Desenvolvimento as inovações quando se diz respeito ao desenvolvimento de produtos e/ou processos que sejam baratos, eficientes e que não causem impactos ao futuro do meio ambiente, com capacidade de reutilizados e reduzida carga nociva.

### 3. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi estruturada em duas etapas sendo a primeira uma introdução sobre o tema em estudo e a segunda em uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de analisar os principais pontos sobre os processos industriais que envolvem Química Verde.

Para elaborar-se a pesquisa bibliográfica, foram consultados previamente plataformas como Google Acadêmico, *Scielo* e *Scopus*, entrando com palavras chaves como “Química Verde”, “Química Sustentável”, “Processos Químicos Sustentáveis”, “*Green Chemistry*” e “*Sustainable Chemistry*”.

Foram encontrados 118 trabalhos relacionados ao tema em questão, sendo selecionados aproximadamente 40 de maior relevância para servirem de referência contando com artigos científicos publicados em periódicos, em congressos, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e cartilhas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. A Química Verde na indústria

A Indústria Química permeia pelos demais seguimentos industriais onde, apesar de contribuir para o avanço econômico e para o desenvolvimento do país, também gera inúmeros inconvenientes, como: a formação de subprodutos tóxicos; a contaminação do ambiente; a produção de grandes volumes de efluentes tóxicos gerados por vários processos químicos; o Aquecimento Global, entre outros (MEIRELLES, 2009).

O setor industrial no Brasil colabora com aproximadamente 19% do PIB nacional, integrando indústrias de artefatos em couro, plástico, celulose, fármacos e construção civil, que geram uma enorme quantidade de resíduos dentro dos processos químicos inerentes as produções.

Neste sentido, observou-se a necessidade do emprego de processos que causassem menos danos ao meio, ideologia também absorvida pela Indústria Química, que demandava pela resolução de problemas com a poluição gerada pelos seus processos e dos resíduos industriais gerados, o que induziram a uma série de atitudes inovadoras que culminaram na aplicação da Química Verde (COUTINHO, *et al.*; 2019).

Conforme Carioca e Almeida (2011), no Workshop Internacional da Química Verde, em 2007, fica ainda mais evidente a necessidade de estudos para que a aplicação dos processos limpos seja difundida, sendo o agronegócio considerado de bastante relevância na aplicação destes processos pois a economia nacional gira em torno do agronegócio e do setor industrial, agregando ainda mais valor aos produtos e processos desenvolvidos.

Logo, A Química Verde funciona como um instrumento facilitador da reinvenção da Indústria Química, sendo desenvolvida de forma consciente, trazendo sustentabilidade e preservação do meio ambiente ao adotar tecnologias mais limpas.

#### 4.1.1. Indústria da construção civil

No segmento da construção civil existe a necessidade de unir os propósitos de manutenção do bem-estar dos seres humanos e animais que irão usufruir das edificações, o processo de obtenção da matéria prima e o descarte final desses componentes.

Conforme explicado por Gomes *et al.* (2016) em 1993, foi criado o primeiro Conselho sobre Construção Sustentável dos Estados Unidos, onde foram estabelecidos 6 princípios para serem atendidos durante o processo de Construção, com a intenção de:

- (1) minimizar o consumo de recursos;
- (2) maximizar a reutilização dos recursos;
- (3) utilizar recursos renováveis e recicláveis;
- (4) proteger o ambiente natural;
- (5) criar um ambiente saudável e não tóxico;
- (6) fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído.

Melo (2021) afirma que, após a imposição desses princípios para serem atendidos pelo segmento da construção civil, houve um esforço ainda maior para a confecção dos produtos considerados "ecologicamente corretos", fabricados de acordo com critérios de sustentabilidade ambiental.

Meirelles (2009) enfatiza que, a incorporação de elementos como cinzas volantes, escórias de alto-forno, sílica de fumo, cinzas de resíduos vegetais, cinzas de resíduos sólidos urbanos, resíduos de vidro, resíduos da indústria automobilística, resíduos de plástico, resíduos têxteis, pó de pedra da indústria das rochas ornamentais, de extração de agregados e da indústria cerâmica, e os resíduos de construção e demolição (Figura 3), são alternativas viáveis e necessárias para atender o primeiro princípio da química verde que diz respeito a formação de resíduos e de como tratá-los após a sua geração.

Figura 3 - Pó de pedra incorporado a matriz cimentícia



Fonte: Site O presente rural (2020)

Bandeira *et al.* (2020) enfatiza a utilização de biopolímeros na construção civil, cuja matéria-prima é uma fonte de carbono renovável, geralmente um carboidrato derivado de plantios comerciais de larga escala como cana-de-açúcar, milho, batata, trigo e beterraba; ou um óleo vegetal extraído de soja, girassol, palma ou outra planta oleaginosa e possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis que levam milhares de anos para se formar, reduzindo os impactos gerados.

Diversos processos são otimizados, visando produtos “limpos” e sustentáveis com, por exemplo, os processos desenvolvidos no trabalho de Zanotto, Marques e Castro (2021) para obtenção de compósito de Pani-Magnetita que culminou em um processo com menor quantidade de resíduos, menor custo e maior eficiência.

Correia Neto *et al.* (2020) ao analisar os esforços na pasta de cimento Portland com óxido de grafeno utilizando os princípios da química verde, apresentou uma proposta com menor impacto ambiental para a produção de compósitos de cimento com grafeno, utilizando a metodologia proposta.

Já Ferraz (2011) utiliza fibra de coco, incorporada à matriz cimentícia com o intuito de aumentar o isolamento térmico e acústico, aumentar ainda a resistência da argamassa a tração e reduzir os resíduos gerados do consumo desta fruta, além de prolongar a vida útil da edificação (Figura 4).

Figura 4 - Fibra de coco na matriz cimentícia



Fonte: Site Nuevamujer (2022)

Araújo Junior (2018), em seu livro, enaltece a utilização da química verde no setor da construção civil utilizando o resíduo de demolição e dos processos da construção como agregado graúdo e miúdo, conferindo ao concreto maior resistência a compressão, hidratação do aglomerante base da matriz e retardo na hidratação, melhorando o tempo de pega, redução de fissura e patologias na estrutura.

Kava (2011) em seu trabalho, também enfatiza a reintegração dos resíduos da construção civil nos processos de confecção neste mesmo segmento priorizando os impactos ambientais e contaminação do solo que venham a se desenvolver com o descarte desse material, havendo também a redução da queima do clínquer para transformação do cimento e redução dos processos de extração de agregados graúdos e miúdos.

Bandeira *et al.* (2021) abordam a substituição de elementos em aço, madeira e concreto em biopolímeros. Estruturas estas que apresentam resistência semelhantes aos materiais de construção convencionais, porém, não requerem a exploração extrativista de materiais orgânicos.

#### 4.1.2. Indústria do couro

Benedicto, Benedicto e Silva (2019) em seu trabalho, abordam o tema da ecoeficiência na cadeia produtiva do couro, calçados e artefatos e chegaram a assertiva de que a adoção de uma tecnologia adequada, oriunda dos conceitos norteados pelos princípios da Química Verde, ecotecnologia e ecoeficiência, podem contribuir de maneira benéfica na consolidação da prática da sustentabilidade estratégica nas empresas.

Com relação a produção do couro, o uso do tanino é de fundamental importância, sendo sua utilização causadora de grande degradação ambiental. Neste sentido Wastowski (2018) em seu trabalho, pesquisou a melhor maneira de aplicação e substituição do tanino por outras fontes solventes menos agressivas, indicando alterações químicas seguindo os princípios da química verde para aumentar a solubilidade deste composto em água, podendo haver melhor descarte deste.

Missio *et al.* (2017) alertam para o fato de que, o tanino da indústria do couro quando em conjunto com materiais poliméricos, serve como matéria prima verde, podendo ser empregado em processos que exijam um material de maior qualidade para usos tecnologicamente mais avançado e que apresente processos produtivos menos prejudiciais ao meio ambiente

Silva Neto *et al.* (2021) apresentam em seu trabalho o desenvolvimento de um couro vegano a base de Kumbucha, que ao fermentar, forma uma biofilme que poderá ser utilizado em substituição ao couro animal pois apresenta características semelhantes.

Em seu trabalho, Oliveira (2021) aborda a química verde na indústria têxtil quando utiliza a biotecnologia na confecção de biofilme, trazendo mais consciência ambiental e proteção do meio ambiente nos produtos oriundos desta indústria, havendo boa aceitação desde e interesse do público-alvo.

Na sua tese, Hansen (2021) sugere ajustes da formulação de acabamento molhado da indústria do couro, visando reduzir a carga poluente dos efluentes líquidos gerados ao aplicar um dispersante orgânico resinado, encontrando uma eficiência inicial de 26% com relação a redução de carga de efluente.

#### 4.1.3. Indústria de plástico e celulose

Na indústria de produção de “plástico verde”, Aguiar *et al.* (2020) observam que comparando os polietilenos fósseis convencionais e os biopolietilenos, os polietilenos convencionais possuem menor impacto nas categorias de acidificação, eutrofização e formação de ozônio fotoquímico, já os biopolietilenos apresentaram um melhor resultado nas categorias de mudanças climáticas e demanda de energia fóssil.

Ao comparar os resultados dos processos convencionais com os que seguem os princípios da química verde na síntese de acil fosfodiésteres por mecanoquímica, Patrocínio (2019) afirma que, apesar de seus baixos rendimentos, a metodologia adotada como não convencional, apresentou valores do coeficiente ambiental superiores aos descritos na literatura, apresentando grande potencial na síntese sustentável de acil fosfatos.

Ventapane e Santos (2021) apresentam em seu trabalho, um reagente de baixo custo e ambientalmente seguro para detecção de íons ferro em água e mostraram a eficiência deste reagente também para metais de transição, íons metálicos, solubilidade e solubilidade de substâncias iônicas na água.

Andrade e Mattos (2021) em seu trabalho, abordam a utilização de princípios da química verde na indústria de celulose para síntese telescópica com o intuito de acessar o núcleo piperidínico utilizando hidrogenação catalítica diastereosseletiva telescópica para redução de reagentes.

Almeida *et al.* (2007) ao utilizarem os princípios da química verde em seu trabalho, sugerem neutralização dos resíduos gerados na indústria de celulose com relação a reduzirem os teores de óxidos, hidróxidos e carbonatos existentes. Ao realizarem análises nos resíduos, verificaram que os valores de pH obtidos eram os ideais para correção de solos ácidos e alta concentração de cálcio, podendo ser um bom aditivo para calagem e preparo do solo.

No boletim da EMBRAPA (2012) os processos de obtenção de nanocristais de celulose a partir do línter de Algodão são enfatizados partindo dos princípios da química verde, o línter tem potencial para ser transformado em um insumo para novos materiais, de forma relativamente simples, atendendo à demanda de redução de resíduos e agregação de valor.

Aguiar *et al.* (2020) enfatizam em sua pesquisa os princípios da engenharia verde e as possibilidades de aplicação no ambiente industrial, pontualmente na indústria de celulose, alertando para o consumo de biomassa (Figura 5) para geração de energia no Brasil, assim como a difusão da utilização da bioenergia.

Figura 5 - Biomassa de cana-de-açúcar



Fonte: Site Canal Bioenergia (2022)

Ainda na indústria de celulose, os autores supracitados realizam uma pesquisa sobre a composição e obtenção do polietileno verde a base de biomassa de cana-de-açúcar em substituição ao polietileno convencional e ao compararem os dois produtos concluíram que os polietilenos fósseis possuem menor impacto nas categorias de acidificação, eutrofização e formação de ozônio fotoquímico e os biopolietilenos apresentaram um melhor resultado nas categorias de mudanças climáticas e demanda de energia fóssil, sendo necessários ainda, estudos sobre a obtenção deste produto para que haja possibilidades de confecção em larga escala.

#### 4.1.4. Indústria de fármacos

Segundo Lucena (2020), na indústria de medicamentos, a química verde integra os processo como agente viável pois com o alto número de análises feitas em seus laboratórios há a necessidade de separação eficiente de analitos presentes no medicamento, sendo substancia ativas ou contaminantes

agindo principalmente na economia de átomos nos processos HPLC (*Reverse phase high performance liquid chromatography* – Cromatografia líquida de alta eficiência de fase reversa), solventes e auxiliares menos agressivos, eficiência energética e como para otimizar as fontes de matéria prima renováveis.

A aquisição de catalisadores e biocatalisadores multifuncionais é uma linha de pesquisa da Química Verde, já os fluidos iônicos, aquosos e em condições supercríticas são exemplos de solventes promissores para favorecer os fenômenos de transferência de massa e calor e combinar os processos de conversão e separação do produto. São amplamente utilizados em reações de hidrogenação, alquilação ou acilação de *Friedel Crafts*, hidroformilação e eterificação (COUTINHO *et al.*, 2019).

Macedo (2012) utiliza a química verde para análise de resíduos de medicamentos veterinários, a exemplo da sulfamida, no leite de bovinos. Para isto, utiliza otimização de gradiente e condições cromatográficas para determinar a presença da sulfamida alterando o tipo de solvente de extração e os sais utilizados.

Ainda segundo Coutinho *et al.* (2019) em seu trabalho, a intensificação de processos eliminou longos ciclos de limpeza dos equipamentos usados na produção tradicional de medicamentos sendo desenvolvido um método inteligente que utiliza sensores online para a medição da produção e para a avaliação da eficiência desta etapa resultando no aumento da capacidade da produção, devido a uma redução de 50% do tempo necessário para limpar os equipamentos; o menor consumo de água e produtos de higienização; e o aumento da flexibilidade da planta, pois as condições da limpeza passaram a ser automaticamente ajustadas para a composição do medicamento produzido.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os processos das principais atividades desenvolvidas podem ser norteados pela Química Verde com o preceito fundamental de estudar e confeccionar produtos químicos com uma vertente predominantemente verde e sustentável onde o produto final deve ser atóxico, degradável em produtos inofensivos e com a geração de pequenas quantidades de resíduos.

Diversos processos são desenvolvidos na indústria química no que diz respeito a contribuição para a preservação do meio ambiente por meio da diminuição dos impactos ambientais e do aumento de eficiência em seus produtos e destes processos.

Sendo assim, a busca por técnicas e processos que provenham da química sustentável e que se apresentam uma gestão de impactos ambientais, sociais e econômicos causados pela atividade química são bem aceitos pela comunidade acadêmica e civil.

## REFERENCIAS

AGUIAR, G. O.; SOUZA, P. R. H.; SOARES, R. M.; CORDEIRO, Y. M.; FRANCO, C. S. S. **Aplicação da Química Verde na Indústria Química como Desenvolvimento Sustentável com Ênfase na Produção do Plástico Verde.** Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana, n. 12, p. 41-58, 2020.

ALENCAR, J. M. **A química verde e o ensino de química.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Química) – Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010.

ALMEIDA, Q. A. R.; SILVA, B. B.; SILVA, G. A. L.; GOMES, S. S.; GOMES, T. N. C. **Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: Mapeamento e importância na prática docente.** Amazônia | Revista de Educação em Ciências e Matemática | v.15, n. 34, p.178-187, 2019

ALMEIDA, H. C.; SILVEIRA, C. B.; ERNANI, P. R.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, D. **Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (DREGS).** Quim. Nova, Vol. 30, No. 7, 1669-1672, 2007

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry theory and Practice.** p.30 University Press, Oxford, 1990.

ANDRADE, V. S. C.; MATTOS, M. C. S. **A abordagem telescópica como ferramenta da química verde.** Quim. Nova, Vol. 44, No. 7, 912-918, 2021

ARAÚJO JUNIOR, A. G. **A química aplicada ao desenvolvimento sustentável da construção civil.** Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

BANDEIRA, A. A.; UBIRAJARA, W. M.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, C. E. C.; SANTOS, L. D. V. **Análise bibliométrica sobre o uso de biopolímeros pela indústria da construção civil.** Research, Society and Development, v.10, n.4, 2021.

BANDEIRA, A. A.; UBIRAJARA, W. M.; ANDRADE, C. E. C.; SANTOS, L. D. V.; HOLANDA, F. S. R. **Análise bibliométrica para acompanhamento das inovações tecnológicas na construção civil a partir dos princípios de química verde.** ANAIS DO VI ENPI – ISSN: 2526-0154. NATAL/RN, vol. 6, nº1, p.1634-1643, 2020.

BAZITO, R. C. **Introdução à Química Verde.** Instituto de Química da USP, p. 1-90. 2009. Disponível em: <[http://www.usp.br/gpqa/Disciplinas/qfl2637/Bazito\\_08.pdf](http://www.usp.br/gpqa/Disciplinas/qfl2637/Bazito_08.pdf)>. Acesso em 29 de janeiro de 2022.

BENEDICTO, S. C.; BENEDICTO, E. P.; SILVA, L. H. V. **Inovação e sustentabilidade estratégica nas organizações: química verde, ecotecnologia e ecoeficiência aplicadas à Cadeia Produtiva de Couro, Calçados e Artefatos.** Periódico eletrônico: Fórum Ambiental. Vol 15, nº03, 2019.

CARIOCA, J. O. B.; ALMEIDA, M. F. L. **Desenvolvimento da Química Verde no Brasil.** Revista de Química Industrial, 2011.

CASULLO, P.; SOUBIRÓN, E. **Química Verde: Metas, Desafíos y Formas de Contribuir a su Desarrollo desde La Enseñanza Media.** In: MOYNA, P. et al. Aportes de La Química al Mejoramiento de La Calidad de Vida. 1. ed. Montevidéo: cap. 1, p. 15-45, 2012

CORDEIRO, Y. M.; AZEVEDO, B. D.; SOARES, R. M.; FRANCO, C. S. S.; SANTOS, C. V. F. **Aplicação do Polietileno no Contexto da Química Verde.** Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana n. 8, pp. 26-33, 2018

CORRÊA, A. G.; ZUIN, V. G. **Química Verde: Fundamentos e Aplicações.** Edufscar, 2012

CORREIA NETO, M. V.; SOUZA, K. C.; MASSANTE, F. F.; COELHO, A. H. H.; PONZIO, E. A.; RESENDE, J. A. L. C. **Efeitos do reforço na pasta de cimento portland com óxido de grafeno obtido por métodos de química verde.** Matéria (Rio J.) 25, (04), 2020.

COSTA, D A. **Métricas de avaliação da química verde – aplicação no ensino secundário.** Tese. Doutorado pela Universidade do Porto, 2011.

COUTINHO, P. L.; *et al.* Intensificação de processos e química verde: importância para as indústrias farmacêutica, cosméticos, alimentícia e biorrefinarias. Revista Fitos, vol. 13, nº1, p. 74-93, 2019.

CUNHA, B. R. O papel da Química Verde no Desenvolvimento Sustentável e a aplicação dos seus princípios na indústria química. 2014. 63f. Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 94: Processo de Obtenção de Nanocristais de Celulose a partir do Linter de Algodão. Campina Grande/PB, 2012

FERRAZ, J. M. Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (*Cocos nucifera L.*) em mistura com cimento Portland. Dissertação. Mestrado em Ciências Florestais pela Universidade de Brasília, 2011.

FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R.; SILVA, F. C. Química Verde, Economia Sustentável e Qualidade de Vida. *Rev. Virtual Quím.* Vol 6, no. 1, p. 85-111, 2014.

GOMES, R. N.; LIMA, P. S.; KURIYAMA, S. N.; FIGALGO NETO, A. A. Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro. *Revista Fito*, 2016.

HANSEN, E. (2021). *Análise e Redução do Impacto dos Produtos Químicos de Acabamento Molhado na Carga Poluente dos Efluentes Líquidos de Processo*. Tese. Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IDS - **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, 2004-2012**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/defaulttab.shtm>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

KAVA, C. M. (2011). **A Construção Civil, a Construção Sustentável e a Educação Socioambiental: Um Estudo de Caso de Aplicações nas Habitações de Interesses Sociais**. Monografia. Especialização em Educação, Meio Ambiente e desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná, 2011.

LANCASTER, M. **Principles and Concepts of Green Chemistry**. In: *Green Chemistry, an introductory text*. 1. Ed. New York: RSC Paperbacks, 2002. cap. 1, p. 1-20.

LENARDÃO E. J., FREITAG R. A., DABDOUB M. J., BATISTA A. C. F., SILVEIRA C. C. "**Green chemistry**" - **Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa**. *Química Nova*, 26(1): 123-29, 2003.

LUCENA, J. M. A. (2020). **Química Analítica Verde no controle de qualidade de medicamentos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Química pela Universidade de Brasília, 2020

MACEDO, A. N. (2012) **Desenvolvimento de métodos analíticos visando atender aos princípios da química verde na análise de resíduos de medicamentos veterinários em leite bovino**. Dissertação. Mestrado em Química Analítica e Inorgânica pela Universidade de São Paulo, 2012

MACHADO, ADÉLIO A. S. C. "**Das Dificuldades da Química Verde aos Segundos doze Princípios**" *QUÍMICA* 110 – 33-39 JUL/SET 2008

MEIRELLES, S. L. **Química Verde: a Indústria Química e seus impactos na Indústria da Construção**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MELO, G. F. **Implementação da química verde para o setor industrial**. *Revista Multidisciplinar De Educação E Meio Ambiente*, vol 2, nº 3, p. 67, 2021.

MISSIO, A L.; MATTOS B. D.; OTONI, C. G.; GENTIL, M.; COLDEBELLA, R.; KHAKALO, A.; GATTO, D. A.; ROJAS, O. J. **Cogrinding Wood Fibers and Tannins: surfactant effects on the interactions and properties of functional films for sustainable packaging materials.** *Biomacromolecules*, v. 21, n. 5, p. 1865-1874, 2020.

PATROCINIO, K. L. **Síntese de acil fosfodiésteres por mecanoquímica: uma metodologia de química verde.** Dissertação. Universidade Federal de São Carlos, 2019.

RAMOS, M. A. F. A. C. **Química Verde – potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário.** Dissertação. Universidade de Lisboa, 2009.

SERRÃO, C. R. G.; SILVA, M. D. B. **A Química Verde presente nos artigos da Revista Química Nova: A divulgação científica dos últimos 10 anos.** XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ) – Brasília, DF, Brasil – 21 a 24 de julho de 2010

SILVA NETO, A. L.; CHAGAS, E. F. B.; PEIXOTO, G. V. L.; SOUZA, J. V. A.; MORAES, L. G. A.; CAMARGOS, M. C. G.; SANTOS, M. L. (2021). **Desenvolvimento de couro vegano: visando a sustentabilidade ambiental.** Trabalho de conclusão de curso. Técnico em Biotecnologia pelo ETEC – Franca, 2021.

SOUSA, A. C.; SILVA, C. E.; COSTA, T. T. **A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio.** *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 19, Nº 3, 593-616, 2020

VENTAPANE, A. L. S.; SANTOS, P. M. L. **Aplicação de princípios de Química Verde em experimentos didáticos: um reagente de baixo custo e ambientalmente seguro para detecção de íons ferro em água.** *Quím. nova esc.* – São Paulo-SP, BR Vol. 43, Nº 2, p. 201-205, 2021

ZANOTTO, C.; MARQUES, P. T.; CASTRO, E. G. **Química Verde: Rota Alternativa e Sustentável para a Produção do Compósito Pani-Magnetita.** *Rev. Virtual Quim.*, 13 (4), 892-899, 2021.

WASTOWSKI, A. **Química da Madeira.** 1 ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência, p. 584, 2018.