

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA, MATEMÁTICA E
EDUCAÇÃO

LUIZ PEDRO TSAI STRINTA

**A POLÍTICA DE ECONOMIA CIRCULAR DA UNIÃO EUROPEIA E
SUA INTEGRAÇÃO COM OS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE:
UMA PESQUISA DOCUMENTAL**

ARARAS

2024

LUIZ PEDRO TSAI STRINTA

**A POLÍTICA DE ECONOMIA CIRCULAR DA UNIÃO EUROPEIA E
SUA INTEGRAÇÃO COM OS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE:
UMA PESQUISA DOCUMENTAL**

Monografia apresentada no curso de
Licenciatura em Química da
Universidade Federal de São Carlos
para aprovação na disciplina de
Monografia II.

Orientação: Prof.^a Dr. Andréa Eloisa
Bueno Pimentel

ARARAS

2024

LUIZ PEDRO TSAI STRINTA

**A POLÍTICA DE ECONOMIA CIRCULAR DA UNIÃO EUROPEIA E
SUA INTEGRAÇÃO COM OS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE:
UMA PESQUISA DOCUMENTAL**

Monografia apresentada no curso de
Licenciatura em Química da
Universidade Federal de São Carlos
para aprovação na disciplina de
Monografia II.

Orientação: Prof.^a Dr. Andréa Eloisa
Bueno Pimentel

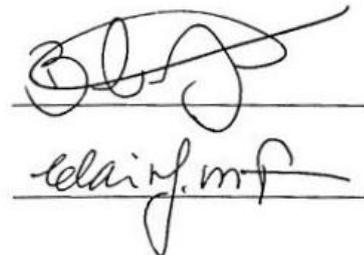
Data de defesa: 06 de fevereiro de 2024

Resultado: A P R O V A D O

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno Campos Janegitz
Universidade Federal de São Carlos

Profa. Dra. Elaine Gomes Matheus Furlan
Universidade Federal de São Carlos



Two handwritten signatures are present, each written over a horizontal line. The top signature is in dark ink and appears to be 'B. C. J.' with a flourish. The bottom signature is in lighter ink and appears to be 'elaine.g.m.f.' with a flourish.

AGRADECIMENTOS

Neste trabalho, contei com o apoio de pessoas incríveis.

Quero agradecer a minha família, uma pequena família, que me permitiu realizar aquilo que eu fosse capaz de acreditar.

Agradeço aos meus amigos, pelos momentos felizes, engraçados e inesquecíveis, tornando essa jornada a mais tranquila que ela poderia ser.

Agradeço à minha parceira de curso e de vida, que me mostrou que a conquista de grandes coisas é sempre mais feliz com alguém do seu lado. Obrigado por me incentivar, me ajudar e me fazer tão feliz.

Não posso deixar agradecer a minha orientadora Andréa, que acreditou no meu trabalho, sempre de forma paciente e criativa. Sua orientação fez toda a diferença no meu trabalho, e essa pesquisa tem muito da sua forma inovadora de analisar e relacionar os fatos. Acredito que elaboramos algo grandioso, e aprendemos que a química e a economia podem caminhar sempre juntas.

Obrigado UFSCar, por me permitir conhecer um mundo de coisas novas. Sempre escutei que existem coisas que o dinheiro não pode comprar. Só eu sei o que vivi, o que aprendi e o que conheci. A ciência, a arte, a cultura, a política, as amizades. Por tudo isso serei eternamente grato.

*“Se a aparência e a essência das
coisas coincidissem, a ciência
seria desnecessária”*

– Karl Marx

RESUMO

Atuando sob a ótica da geração de lucros, a economia linear tem se mostrado ineficiente em respeitar processos de reciclagem e reutilização de materiais, trazendo a necessidade de se discutirem alternativas para a grande quantidade de lixo proveniente de descartes, desperdiçados como fontes de recursos e energia. Surgindo como uma alternativa regenerativa e restaurativa, a economia circular (EC) visa modificar a atividade linear da economia planejando circuitos fechados, o que beneficia a circularidade de materiais, a economia de capital, e por consequência reduz a quantidade de resíduos descartados. O documento “Um novo Plano de Ação para a Economia Circular” da União Europeia foi o primeiro grande planejamento para uma transição do modelo linear para o circular. Em vista disso, este trabalho teve como objetivo a realização de uma pesquisa documental neste Plano de Ação, buscando investigar de que forma os 12 princípios da química verde são integrados na política de economia circular da União Europeia (UE). Esta busca visa mapear, de forma transdisciplinar, a existência de relações e lacunas entre estas duas abordagens de desenvolvimento, e pode favorecer a criação de sistemas multidisciplinares e colaborativos. Como resultado desta pesquisa, identificou-se a presença de 7 princípios da química verde na economia circular proposta pela UE, observando, porém, uma aproximação do Plano somente com os princípios da química verde que estão alinhados com a circularidade de materiais. Conclui-se, entre outros fatores, que o Plano de Ação da UE direciona maior preocupação aos produtos fabricados pela indústria - aqueles que podem ser comercializados - do que aos subprodutos gerados por ela, mostrando a ausência de um combate direto às sínteses químicas perigosas. A partir desta interpretação, são propostos encaminhamentos para uma maior integração entre as duas abordagens de desenvolvimento, incluindo uma revisão de documentos da UE e a implementação de um sistema de colaboração interdepartamental. O trabalho também apresenta uma proposta pedagógica, que objetiva introduzir a abordagem da química verde para o 3º ano do Ensino Médio, a partir da Unidade Curricular (UC) “Meu papel no desenvolvimento sustentável”. Utilizando a metodologia dos três momentos pedagógicos e a relação com o filme *Wall-e*, estimula-se a interação dialógica, aplicando uma atividade investigativa que incentiva o protagonismo dos estudantes, a partir da sugestão pelos alunos de novas práticas sustentáveis para o laboratório da escola.

Palavras-chave: Química verde, Economia circular, União Europeia.

ABSTRACT

From the perspective of generating profits, the linear economy has proven inefficient in respecting recycling processes and the reuse of materials, bringing about the need to discuss alternatives to the large amount of waste from discards, often wasted as potential sources of resources and energy. Emerging as a regenerative and restorative alternative, the circular economy (CE) aims to modify the linear activity of the economy by planning closed circuits. This benefits the circularity of materials, capital savings, and consequently reduces the amount of waste discarded. The European Union's document "A new Circular Economy Action Plan" stands as the first major plan for a transition from the linear to the circular model. In view of this, the research aims to conduct documentary analysis on this Action Plan, seeking to investigate how the 12 principles of green chemistry are integrated into the circular economy policy of the European Union (EU). This search aims to map, in a transdisciplinary way, the existence of relationships and gaps between these two development approaches, fostering the creation of multidisciplinary and collaborative systems. As a result of this research, the presence of 7 principles of green chemistry in the circular economy proposed by the EU was identified, observing, however, an alignment of the Plan primarily with the principles of green chemistry that are aligned with the circularity of materials. It is concluded, among other factors, that the EU Action Plan directs greater concern to products manufactured by the industry – those that can be commercialized – rather than to the by-products generated by it, showing the absence of a direct combat against dangerous chemical syntheses. Based on this interpretation, directions for greater integration between the two developmental approaches are proposed, including a review of EU documents and the implementation of an interdepartmental collaboration system. The work also presents a pedagogical proposal that aims to introduce the green chemistry approach to the 3rd year of high school, based on the Curricular Unit (UC) "My Role in Sustainable Development." Using the methodology of the three pedagogical moments and the relationship with the film *Wall-e*, dialogical interaction is encouraged, also applying an investigative activity that encourages student protagonism, based on a suggestion by the students of new sustainable practices for the laboratory from school.

Keywords: Green chemistry, Circular economy, European Union.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo biológico (orgânico) e ciclo técnico (industrial) da economia circular	13
Figura 2 - Estrutura sequencial da análise de conteúdo categorial.....	22
Figura 3 - Diagrama PAS com os princípios da química verde	23
Figura 4 - Demarcações das três categorias da Química Verde, conforme a estruturação PAS	25
Figura 5 - Gráfico comparativo entre as categorias da Química Verde quantificadas no Plano de Ação	28
Figura 6 - Demarcação das unidades de registro em amarelo, representando a categoria Poluição e Prevenção de Acidentes	32
Figura 7 - Demarcação das unidades de registro em azul, representando a categoria Garantia de Segurança e Proteção.....	37
Figura 8 - Demarcação das unidades de registro em verde, representando a categoria Sustentabilidade Energética e de Recursos	39
Figura 9 - Diagrama com os princípios que foram efetivamente citados no Plano de Ação....	43
Figura 10 - Diagrama PAS proporcional à relevância das categorias no Plano	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos doze princípios da química verde	15
Quadro 2 - Propostas alinhadas à abordagem da química verde no Plano de Ação da UE.....	29
Quadro 3 - Propostas alinhadas à abordagem da química verde no Plano de Ação UE e seu agrupamento em eixos temáticos.....	30
Quadro 4 - Conexão cruzada entre o princípio nº 1 e a gestão de resíduos proposta pelo Plano de Ação	33
Quadro 5 - Conexão cruzada entre os princípios nº 1 e nº 10 e o combate à poluição por plásticos, microplásticos	34
Quadro 6 - Conexão cruzada entre o princípio nº 1 e a redução na emissão de gases do efeito estufa proposta pelo Plano de Ação.....	36
Quadro 7 - Conexão cruzada entre o princípio nº 4 e a eliminação de substâncias perigosas proposta pelo Plano de Ação	38
Quadro 8 - Conexão cruzada entre o princípio nº 11 e a gestão da segurança proposta pelo Plano	39
Quadro 9 - Conexão cruzada entre o princípio nº 2 e a eficiência de recursos proposta pelo Plano de Ação	41
Quadro 10 - Conexão cruzada entre o princípio nº 6 e a eficiência energética proposta pelo Plano de Ação.....	42
Quadro 11 - Conexão cruzada entre os princípios nº 7 e nº 10 e a adoção de materiais de base biológica	42
Quadro 12 - Sequência de aulas da proposta pedagógica.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – Aplicação do conhecimento

EC – Economia circular

GCP – Green chemistry principle (Princípio da química verde)

GCPs – Green chemistry principles (Princípios da química verde)

GEE – Gases do efeito estufa

OC – Organização do conhecimento

PAS – Prevention-Assurance-Sustainability (Prevenção-Garantia-Sustentabilidade)

PI – Problematização inicial

QV – Química verde

TICs – Tecnologias da Informação e Comunicação

UA – Unidade de análise

UE – União Europeia

UR – Unidade de registro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	19
3. METODOLOGIA	20
3.1. PESQUISA DOCUMENTAL	20
3.1.1. Análise de conteúdo categorial	20
3.1.1.1. Pré-análise	22
3.1.1.2. Exploração do material	24
3.1.1.3. Tratamento dos resultados	25
4. RESULTADOS	27
4.1. POLUIÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES	31
4.1.1. Gestão de resíduos	32
4.1.2. Combate à poluição por plásticos, microplásticos e embalagens	33
4.1.3. Redução na emissão de gases do efeito estufa	35
4.2. GARANTIA DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO	36
4.2.1. Eliminação de substâncias perigosas	37
4.2.2. Gestão da segurança	38
4.3. SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA E DE RECURSOS	39
4.3.1. Eficiência de recursos	40
4.3.2. Eficiência energética	41
4.3.3. Materiais de base biológica	42
4.4. DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS	42
5. PROPOSTA PEDAGÓGICA	47
5.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	48
5.2. CONTEÚDOS	48
5.3. METODOLOGIA E RECURSOS	48
5.4. RESULTADOS ESPERADOS	51
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53

1. INTRODUÇÃO

A economia atual é baseada em um fluxo linear de extração, produção, consumo e descarte. O modelo linear de produção tem como característica principal a recorrente extração de recursos virgens para a fabricação de produtos, com o propósito de comercialização para a geração de lucros. Este propósito foi alcançado integralmente pelo modelo linear pelo menos até o século 20, visto que muitos países cresceram, ano após ano, em indicadores econômicos neste período (Sariatli, 2017).

Quando são analisadas as toneladas de descartes provenientes destes países, nota-se que o progresso econômico foi acompanhado de profunda falta de priorização em relação à reutilização e reciclagem de materiais, o que aumentou exponencialmente a quantidade de lixo no planeta, desperdiçados como fontes materiais e de energia (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Este modelo não é novo e vem se mostrando cada vez mais insustentável, sobretudo no século XXI, com o aumento da demanda originada pelo crescimento populacional, que acaba subtraindo recursos de países emergentes e enviando a países industrializados, especialmente países ocidentais (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Segundo dados da Eurostat (2013), das bilhões de toneladas de materiais que adentram a economia europeia, apenas 40% são reutilizadas uma segunda vez, através de reciclagem, reuso ou compostagem. O consumismo acelerado tem mostrado consequências precoces, caminhando para a escassez de recursos virgens, com indícios sendo percebidos na elevação dos preços de *commodities* - que no ano de 1999 atingiram um ponto de inflexão nos preços.

A insustentabilidade do atual modelo de produção demanda por alternativas disruptivas no que diz respeito à reutilização e circularidade de materiais. Determinada a alterar a lógica linear de produção e consumo, a economia circular (EC) surge como um modelo econômico fundamentado nos círculos energéticos da ecologia (Chen, 2009), com uma proposta regenerativa e restaurativa, através da modificação na forma de produção, implementando circuitos fechados na economia, e não mais circuitos lineares. Neste modelo, planeja-se o ciclo de vida dos produtos do início ao fim, desde a extração dos recursos até o manejo dos resíduos causados pelo descarte do produto final (United Nations Environment Programme, 2007).

Uma economia apoiada na circularidade é proposta como uma nova abordagem de desenvolvimento por diferentes autores. Para Ellen MacArthur Foundation (2013) uma economia baseada na circularidade é guiada por três grandes pilares: Eliminação de Resíduos e

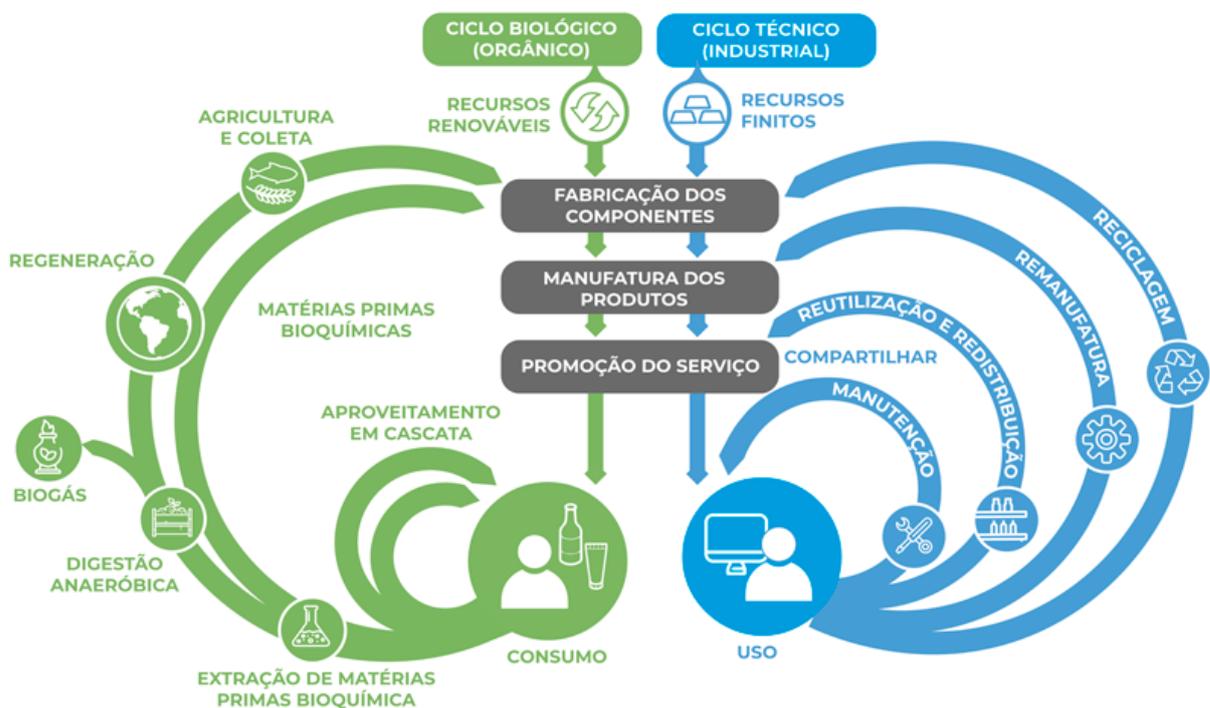
Poluição; Circularidade de Produtos e Materiais (em alto nível); e Regeneração da Natureza. A EC é restaurativa por intenção, devendo eliminar as substâncias tóxicas, promover o uso de fontes renováveis de energia e reduzir o desperdício, a partir do desenvolvimento de produtos com grande vida útil.

O autor Walter R. Stahel (2016) também aponta a importância da economia circular:

“Uma «economia circular» transformaria bens que estão no fim da sua vida útil em recursos para outros, fechando ciclos nos ecossistemas industriais e minimizando os resíduos. Mudaria a lógica econômica porque substitui a produção pela suficiência: reutilizar o que puder, reciclar o que não pode ser reutilizado, reparar o que está quebrado, refabricar o que não pode ser reparado. Um estudo realizado em sete países europeus concluiu que uma mudança para uma economia circular reduziria as emissões de gases do efeito estufa de cada país em até 70% e aumentaria a sua força de trabalho em cerca de 4% — a economia definitiva de baixo carbono”.

Ainda segundo a Ellen MacArthur Foundation (2013), um sistema circular é composto por dois diferentes ciclos de materiais: biológicos e técnicos. No ciclo biológico, os materiais são orgânicos e biodegradáveis, e não são descartados, mas sim reintroduzidos na terra a partir de processos de valorização de resíduos, como a compostagem; já no ciclo técnico, que se refere aos produtos industriais, não degradáveis e com potencial risco de toxicidade, propõe-se a reutilização, reparação, remanufatura e reciclagem destes produtos. Na Figura 1, estão representados o ciclo biológico e o ciclo técnico da economia circular.

Figura 1 – Ciclo biológico (orgânico) e ciclo técnico (industrial) da economia circular



adaptação do diagrama elaborado pela Fundação Ellen MacArthur  IDEIA CIRCULAR

Fonte: Ideia Circular (2021) baseado em Ellen MacArthur Foundation (2013)

Os ciclos biológicos e técnicos são cruciais para a circularidade de materiais. Sariatli (2017) aponta que a reutilização, reciclagem e outras formas de valorização de resíduos têm a capacidade de tornar os produtos mais baratos, reduzindo a dependência de um país com países exportadores de matérias-primas e *commodities*. Cálculos realizados pela Ellen MacArthur Foundation (2013) mostram que a União Europeia (UE) economizaria de 400 a 600 bilhões de dólares por ano com a implementação de um modelo circular. Por sua vez, a Comissão Europeia (2020) afirma que a grande mudança gerada por circuitos fechados na economia se reflete na desassociação do crescimento econômico à extração constante de recursos, diminuindo a sua dependência de matérias-primas virgens.

Na última década, um grande número de documentos com o tema “economia circular” foram publicados pela União Europeia, estando disponíveis em sites oficiais. A nível de comparação, em 2014, apenas 10 publicações sobre “economia circular” foram feitas pela UE. Já no ano de 2022 foram registradas 103 publicações. Esse grande aumento na elaboração de documentos sobre EC traduz, a priori, uma preocupação com o futuro, em que o interesse financeiro deste bloco econômico é unido ao interesse ambiental (Joint Research Centre, 2023).

Dentre os documentos em destaque, a União Europeia (UE) consolidou no ano de 2020 uma comunicação, denominada “Um novo Plano de Ação para a Economia Circular” ou, em inglês, *A new Circular Economy Action Plan*, um planejamento de ações legislativas e não legislativas para o início da transição do modelo linear para o modelo circular. A Comissão Europeia propôs uma série de medidas a serem cumpridas em aterros sanitários até os anos de 2030 e 2035, que envolvem reuso e reciclagem, junto de coletas seletivas para resíduos têxteis e biológicos (Ellen MacArthur Foundation, 2022).

Assim como a economia circular, outra escola de pensamento extremamente relevante para uma transição verde no século XXI é a química verde – ou QV (Silvestri *et al.*, 2021). Para Lenardão *et al.* (2003), a química verde, também chamada de química sustentável ou química limpa, é uma abordagem de desenvolvimento que visa reduzir ou eliminar os impactos causados pelas substâncias químicas, sobretudo em um processo industrial. A partir de um planejamento consistente, uma indústria dotada dos princípios da química verde é capaz de redesenhar o seu processo produtivo em prol do bem-estar ambiental e humano.

A necessidade de elaborar metodologias sintéticas alternativas foi evidenciada pela agência ambiental norte-americana EPA (“Environmental Protection Agency”) no ano de 1991, a partir do programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição” (Lenardão *et al.*, 2003). Este programa deu suporte ao desenvolvimento de pesquisas para a criação de novas formas de minimizar a poluição em processos de síntese, problemática ambiental potencializada

pelo crescimento populacional no século XX. Tendo sido somadas a outras propostas no ano de 1993, essa abordagem recebeu o nome de “Química Verde” (Corrêa, 2012).

Esta nova proposta de desenvolvimento atraiu a comunidade acadêmica, empresarial e também diferentes entes governamentais. Países como Itália, Alemanha e Estados Unidos, por exemplo, passaram a criar premiações para diferentes categorias de pesquisa, estimulando o desenvolvimento de tecnologias sintéticas que visassem reduzir a geração de resíduos na etapa de produção (Lenardão *et al.*, 2003). Entende-se que os processos produtivos não irão reduzir o seu ritmo de atividade – pelo contrário, vão sempre aumentar – e deve-se, desta forma, unir o crescimento econômico à processos produtivos incapazes de gerar poluição.

Para Corrêa (2012), a química verde, diferente de outras abordagens sustentáveis, traz um olhar para a parte mais fundamental de um material – sua composição molecular. Leva-se em consideração que a etapa de produção de um produto pode ser realizada com reagentes e metodologias que reduzam ao mínimo as externalidades negativas.

Com base neste paradigma, Paul T. Anastas e John C. Warner (2000) fundamentaram no final do século XX uma sequência de doze princípios, cruciais para uma atividade industrial sustentável. Estes princípios também são chamados de *Green Chemistry Principles* ou GCPs. Os doze princípios estão explicitados no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição dos doze princípios da química verde

Princípios da química verde	Descrição dos princípios
1) Prevenção de resíduos	Evitar a geração de resíduos é mais vantajoso do que lidar com seu tratamento ou “limpeza” posterior
2) Economia de átomos	Elaborar metodologias de síntese que incorporem a maior parte dos reagentes no produto final é imperativo
3) Síntese químicas menos perigosas	Quando possível, a síntese de um produto químico deve empregar e gerar substâncias inócuas ao meio ambiente e à saúde humana
4) Desenho de produtos seguros	Deve-se projetar produtos que cumpram a sua função e não apresentem toxicidade
5) Solventes e auxiliares mais seguros	Deve-se reduzir a dependência de substâncias auxiliares, como solventes, agentes de separação e secantes; quando usadas, essas substâncias devem ser inofensivas

Fonte: Anastas e Warner (2000).

Quadro 1 - Continuação dos doze princípios da química verde

Princípios da química verde	Descrição dos princípios
6) Busca pela eficiência de energia	Minimizar o uso de energia em processos químicos; se possível, realizar processos à temperatura e pressão ambiente
7) Uso de matérias-primas renováveis	Priorizar matérias-primas renováveis sobre fontes não-renováveis é uma escolha sustentável e recomendada sempre que tecnicamente viável
8) Redução de derivados	Deve-se reduzir ao mínimo a derivatização desnecessária, uma vez que este processo utiliza reagentes adicionais e geram resíduos
9) Catálise	Reagentes catalíticos de alta seletividade superam reagentes estequiométricos
10) Desenho para degradação	Produtos químicos devem ser concebidos para se decomporem em produtos de degradação inofensivos ao final de sua utilidade, evitando persistência no ambiente
11) Análise em tempo real para prevenção de poluição	Deve-se desenvolver metodologias analíticas para monitorar e controlar processos em tempo real, impedindo a formação de substâncias nocivas
12) Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes	É preciso escolher substâncias e métodos que reduzam a probabilidade de acidentes químicos, como vazamentos, explosões e incêndios

Fonte: Elaborado pelo autor

Estudos sobre química verde estão em grande crescimento nos últimos anos (Silvestri *et al.*, 2021), assim como estudos sobre economia circular (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Compreende-se que os princípios da química verde se relacionam, em grande parte, com os princípios da economia circular, apesar de essas duas escolas de pensamento terem diferentes objetivos específicos (Smieja; Babcock, 2017). Por não serem exclusivamente similares, mas por proporem ações direcionadas e sustentáveis contra a geração de resíduos, as duas escolas podem ser pensadas de forma transdisciplinar.

A transdisciplinaridade implica na interposição de duas áreas do conhecimento, que ao se relacionarem, criam abordagens colaborativas para a resolução de problemas complexos. Com a pesquisa transdisciplinar, rompem-se as fronteiras disciplinares, e um problema passa a ser encarado de maneira holística, dando origem a novos conhecimentos (Austin; Park; Goble,

2008). Segundo Liu *et al.* (2015), quando duas áreas se desenvolvem isoladamente, elas perdem potencial, distanciando o problema que elas têm em comum de uma resposta solucionadora.

No contexto deste trabalho, um estudo realizado por Tse-Lun Chen *et al.* (2020) buscou relacionar conceitualmente a química verde e a economia circular. Com seus resultados, os autores concluíram que a utilização dos princípios da química verde pela indústria é essencial para o desenvolvimento da economia circular, já que ambas as abordagens trazem enfoques contra a poluição, a partir de ações direcionadas. Para que seja possível relacionar estas duas escolas, os autores propuseram uma nova integração, sugerindo um sistema de colaboração interdepartamental. Esta abordagem integrativa poderia auxiliar o estabelecimento de uma relação transversal entre a indústria química e a economia circular.

Os autores Cecilia Silvestri *et al.* (2021) também investigaram como os conceitos da economia circular estão relacionados com a química verde. Os resultados apontaram que a química está ligada à quase todos os sistemas de produção, e não há como deixar de relacionar uma produção química sustentável com a economia circular, já que ambas as abordagens podem interagir entre si, se apoiando na redução da poluição e na regeneração da natureza.

De forma semelhante, Amos Ncube *et al.* (2023) destacam que a química verde é uma base sólida para o desenvolvimento da economia circular, e que esta integração pode extrapolar os limites disciplinares. No entanto, isso só poderia acontecer com o desenvolvimento de regulamentações e legislações neste sentido, para facilitar essa integração. Explora-se também o conceito de “química circular”, mudando a perspectiva de setorial para interdisciplinar, considerando novas propostas.

Com base no panorama descrito, o presente trabalho tem como objetivo explorar a relação existente entre a química verde e a economia circular proposta pela União Europeia. Não se encontra na literatura nenhum trabalho que busque interconectar estas duas abordagens, com enfoque na economia europeia. A partir de uma leitura orientada, esse trabalho buscou inferir de que modo os doze princípios da química verde estão presentes nas políticas da UE, com que intensidade eles aparecem e quais são as lacunas encontradas no Plano.

O trabalho também visou elaborar uma proposta pedagógica voltada a apresentar os conceitos da química verde para o 3º ano do Ensino Médio, explorando as problemáticas ambientais apresentadas no filme *Wall-e* em paralelo com situações cotidianas, aplicando posteriormente uma atividade investigativa, incentivando o protagonismo por parte dos estudantes a partir de mudanças para o laboratório da escola.

Entende-se que a insustentabilidade do atual modelo de produção necessita de respostas à altura do problema, a partir de soluções colaborativas e interdisciplinares, que possam ser

pensadas no curto prazo, para suportar a demanda originada pelo crescimento populacional, unindo crescimento econômico à diminuição de impactos ambientais.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar de que forma a química verde é integrada na economia circular proposta pela União Europeia.

Para a determinação do objetivo geral, definem-se como objetivos específicos os itens I, II e III:

I) A partir de sistematização textual, avaliar a presença ou ausência dos doze princípios da química verde na política da UE;

II) Interpretar o aparecimento ou a ausência destes princípios com base em referenciais teóricos;

III) Propor encaminhamentos para uma abordagem transdisciplinar e coesa e elaborar uma proposta pedagógica conceitual sobre química verde para o Ensino Médio.

3. METODOLOGIA

Para que seja possível identificar se a química verde e seus princípios estão inseridos na política da UE, foi preciso evitar o uso de análise espontânea. Desta forma, foi selecionado como metodologia a pesquisa documental e como método a análise de conteúdo categorial, dispondo de estruturas metodológicas muito bem estabelecidas, provendo uma análise rigorosa e confiável.

3.1. PESQUISA DOCUMENTAL

Uma pesquisa documental tem como objetivo a análise e interpretação de fontes primárias. Fonte primária é toda fonte que ainda não foi tratada cientificamente. Esse tipo de pesquisa tem como diferencial a análise de um documento que foi escrito de forma imparcial, já que na leitura não estará contida a influência de nenhum pesquisador, por ser um documento institucional, grande parte das vezes. A pesquisa bibliográfica, por outro lado, analisa artigos já tratados cientificamente, com o viés de um pesquisador (Oliveira, 2016).

No seu surgimento, a pesquisa documental se limitava somente à interpretação de documentos oficiais ligados à política e de pessoas consideradas importantes, já que pouca informação era registrada. Com a evolução da História e das metodologias de pesquisa, outras fontes passaram a ser consideradas relevantes, onde não apenas textos formalizados são levados em consideração, como tudo aquilo que transmite conhecimentos relevantes dentro de uma determinada época (Cellard, 2008).

Com base neste panorama, a pesquisa documental neste trabalho tem por objetivo analisar o documento “Um novo Plano de Ação para a Economia Circular”. Entende-se que esta é uma comunicação sobre sustentabilidade e pode auxiliar a responder à pergunta de pesquisa deste trabalho: “Como a química verde é tratada na política de economia circular da União Europeia?”.

Esta comunicação pode ser encontrada no site EUR-Lex da União Europeia. A pesquisa foi feita no mecanismo de “pesquisa avançada”, buscando pelo título do Plano de Ação. O documento pode ser lido no próprio site ou baixado em PDF.

3.1.1. Análise de conteúdo categorial

Para a realização da pesquisa documental, utilizou-se como método a análise de conteúdo categorial, que propõe uma estrutura metodológica para sistematizar o material escrito. A análise de conteúdo é utilizada com muita frequência para análise de documentos, um material composto por mensagens extraídas de determinado momento histórico, econômico e sociocultural.

A obra de Laurence Bardin (1977) intitulada “Análise de conteúdo” se destaca por ser um grande referencial para este tipo de análise. A autora propõe uma estrutura metodológica abrangente, possibilitando a interpretação de diferentes tipos de comunicação e a obtenção de significados mais profundos na leitura, com uma análise rigorosa e confiável.

Para Franco (2008, p. 20), um conteúdo textual pode apresentar:

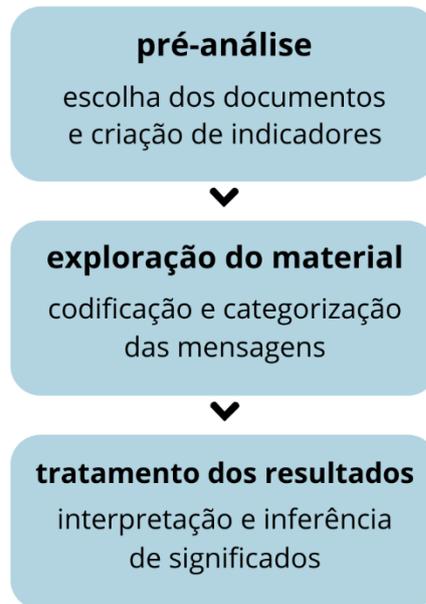
““[...] expressões verbais (ou mensagens) carregadas de componentes cognitivos, subjetivos, afetivos, valorativos e historicamente mutáveis. Sem contar com os componentes ideológicos impregnados nas mensagens socialmente construídas [...]”

As mensagens de um texto devem, portanto, ser identificadas em diferentes níveis, cabendo ao pesquisador compreender qual é a finalidade daquele conjunto de mensagens, a quem ela se destina, como objetivá-las dentro da sua pesquisa, dentre outras ações.

O pesquisador torna-se capaz de desenvolver uma abordagem qualitativa mas também quantitativa, se assim preferir (Bardin, 1977). A análise de conteúdo possibilita um entendimento mais relevante do texto, que não seria atingido a partir de uma leitura simples, sem sistematização.

Ainda segundo Bardin (1977), uma análise de conteúdo deve seguir um processo cronológico que pode ser resumido em três etapas distintas: 1) Pré-análise; 2) Exploração do material e categorização; 3) Interpretação e tratamento dos resultados (inferência). A estrutura sequencial do processo está representada na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura sequencial da análise de conteúdo categorial



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Bardin (1977)

Esta sequência está explicitada nos três subtópicos seguintes.

3.1.1.1. Pré-análise

A etapa de pré-análise consiste na escolha dos documentos a serem analisados pelo pesquisador e na criação de indicadores para auxiliar a sistematização textual.

Os documentos escolhidos devem estar alinhados com a pergunta de pesquisa (Oliveira, 2008). Como citado anteriormente, o texto selecionado para análise foi o documento “Um novo Plano de Ação para a Economia Circular” da União Europeia, que auxiliará a identificar a presença ou ausência da química verde na política da UE.

Nesta etapa, também são definidas as unidades de análise (UA) e as unidades de registro (UR). A unidade de análise refere-se à unidade que o pesquisador vai ler e analisar, ou seja, é o elemento específico que será lido para obter as informações de interesse. Neste trabalho, selecionou-se como UA as temáticas (que podem ser palavras, frases, parágrafos ou qualquer outro tipo de registro gramatical), não se limitando a estruturas gramaticais.

A UR, por sua vez, refere-se à forma como o texto é demarcado ou grifado, efetivamente. Deve-se escolher apenas um tipo de UR (Oliveira, 2008). Devido ao fato deste

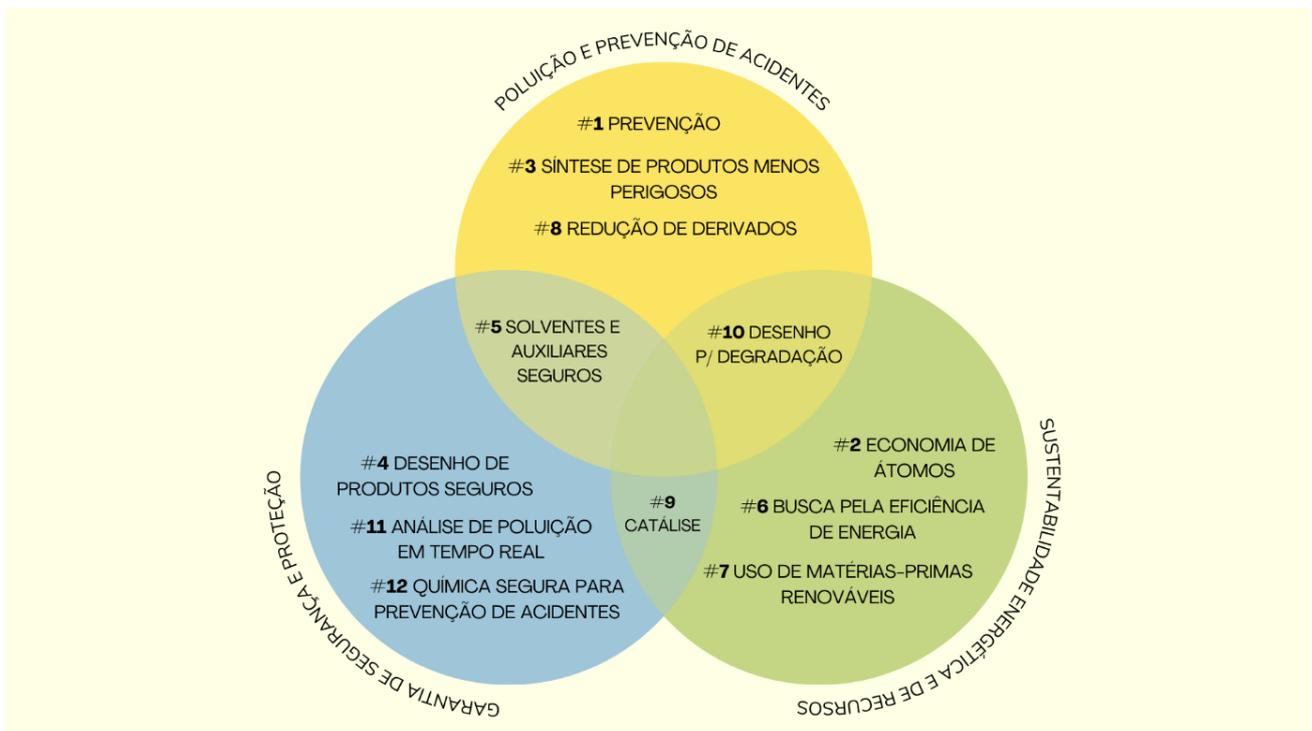
trabalho ter enfoque qualitativo, a UR utilizada para demarcação também foram as temáticas. Foi dado um enfoque para as ideias, sem se preocupar com estruturas gramaticais, com demarcação desde palavras-chaves até parágrafos.

Após essa definição, foram elaborados os indicadores. O texto, que é uma comunicação subjetiva, deve ser grifado a partir de um número específico de categorias de análise. A seleção destas categorias foi realizada em um processo denominado categorização *a priori*. Esse tipo de categorização se torna mais relevante para este trabalho, uma vez que se trabalha com ideias pré-estabelecidas.

Para Tse-Lun Chen *et al.* (2020), existem três grandes categorias que conseguem agrupar os 12 princípios da química verde de forma plena, unindo-os por afinidade. Estas áreas são denominadas como: 1) Poluição e Prevenção de Acidentes; 2) Garantia de Segurança e Proteção; 3) Sustentabilidade Energética e de Recursos. Logo, neste trabalho, o texto foi sistematizado a partir destas três categorias.

Estes autores nomeiam essas três grandes áreas da QV pelo termo *Prevention-Assurance-Sustainability* (PAS). A Figura 3 mostra os princípios da química verde conforme a estruturação proposta pelos autores.

Figura 3 - Diagrama PAS com os princípios da química verde



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Tse-Lun Chen *et al.* (2020)

A categoria 1 (Poluição e Prevenção de Acidentes) é composta pelos princípios da química verde que buscam minimizar a poluição e geração de resíduos. A categoria 2 (Garantia de Segurança e Proteção) é composta pelos princípios que buscam promover maior segurança e minimizar a toxicidade química. A categoria 3 (Sustentabilidade Energética e de Recursos) apresenta princípios alinhados à eficiência energética e de recursos (Chen *et al.*, 2020).

No diagrama, foram destacadas três intersecções para três princípios da química verde: GCP nº 5 (Solventes e auxiliares seguros), GCP nº 9 (Catálise) e GCP nº 10 (Desenho para degradação). Estes princípios foram trabalhados em duas categorias, conforme mostra o diagrama. Por exemplo, o GCP nº 10 (Desenho para degradação) foi trabalhado para a categoria Poluição e Prevenção de Acidentes e Sustentabilidade Energética e de Recursos, ora para uma, ora para outra, uma vez que a sua ideia principal pode ser aplicada tanto no contexto de minimizar poluição, quanto para garantir maior eficiência de recursos e energia. Assim foi feito com os outros dois GCPs.

Tendo definido o documento e as categorias para análise, pôde-se iniciar a exploração do material.

3.1.1.2. Exploração do material

A etapa de exploração do material é o momento em que se inicia propriamente a análise do documento. Esta exploração foi realizada em duas etapas: leitura flutuante e leitura orientada. A primeira etapa, de leitura flutuante, consiste em uma leitura sem atenção aos objetivos metodológicos, para adquirir familiarização com o texto. A leitura orientada é o momento em que se inicia propriamente a sistematização do texto, com os grifos (Oliveira, 2008).

Neste momento, são codificados os dados brutos, agrupando-os sistematicamente nas distintas categorias.

Para demarcação das URs, foram utilizados grifos de três cores (amarelo, verde e azul), utilizando-se da extensão do Google Chrome '*Diigo Web Collector - Capture and Annotate*' para facilitar a demarcação do texto, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Demarcações das três categorias da Química Verde, conforme a estruturação PAS

3.2. Baterias e veículos

A mobilidade do futuro baseia-se nas baterias e nos veículos sustentáveis. A Comissão proporá este ano um novo quadro regulamentar para as baterias no intuito de avançar rapidamente no reforço da sustentabilidade da emergente cadeia de valor das baterias para a eletromobilidade e reforçar o **potencial circular** de todas as baterias. Esta proposta legislativa basear-se-á na avaliação da Diretiva Pilhas e Acumuladores ²⁵ e nos contributos da Aliança Europeia para as Baterias, tendo em consideração os seguintes aspetos:

- **Definir regras sobre o teor reciclado e tomar medidas para melhorar as taxas de recolha e reciclagem de todas as baterias, garantir a valorização de materiais valiosos** e informar os consumidores;
- **Abordar o problema das baterias não recarregáveis no intuito de eliminar gradualmente a sua utilização** nos casos em que existam alternativas;
- Estabelecer requisitos de sustentabilidade e transparência das baterias que tenham em conta aspetos como a pegada de carbono do fabrico de baterias, o **aprovisionamento responsável e a segurança do abastecimento de matérias-primas**, e que promovam a **reutilização, a reorientação e a reciclagem**.

No intuito de incentivar **modelos de negócio mais circulares**, a Comissão proporá igualmente a revisão das regras sobre os veículos em fim de vida ²⁶, com vista a vincular as questões da conceção ao tratamento em fim de vida, **estudar a definição de regras sobre o teor reciclado obrigatório de certos materiais dos componentes e melhorar a eficiência da reciclagem**. Além disso, a Comissão estudará quais são as medidas mais eficazes para garantir a **recolha e o tratamento ecológico dos óleos usados**.

Fonte: Comissão Europeia (2020)

A cor amarela representa a categoria “Poluição e Prevenção de Acidentes”, a cor azul representa a categoria “Garantia de Segurança e Proteção”, ao passo que a cor a verde se refere à “Sustentabilidade Energética e de Recursos”. A codificação foi realizada nas 21 páginas do Plano de Ação, e como citado anteriormente, não se preocupou com estruturas gramaticais. Ao final da codificação, foi possível contabilizar a frequência de cada categoria a partir da quantidade de URs demarcadas, formulando-se uma tabela para fins de quantificação.

Após a codificação do texto, pôde-se identificar temas recorrentes dentro destas categorias, chamados de temas iniciais. Em posterior reagrupamento, estes temas iniciais puderam ser agrupados em eixos temáticos. Esta subdivisão buscou facilitar a análise dos resultados, utilizando os temas de maneira cruzada com os princípios da química verde.

Para a análise qualitativa, selecionou-se excertos relevantes encontrados no Plano para aprofundamento teórico.

3.1.1.3. Tratamento dos resultados

A terceira etapa, de tratamento dos resultados, teve como objetivo interpretar as informações coletadas, a partir dos princípios da química verde propostos por Paul T. Anastas e John C. Warner (2000) em relação cruzada com os temas identificados no Plano de Ação. Esta etapa também se apoiou na estruturação PAS, proposta por Tse-Lun Chen *et al.* (2020).

A autora Laurence Bardin (1977) ressalta que a etapa de interpretação dos dados é feita de maneira particular por cada pesquisador. Desta forma, para este trabalho, foram selecionados

excertos do Plano de Ação que mostraram-se alinhados com a abordagem da química verde, analisando-os com base nos referenciais supracitados.

Esta interpretação pretendeu identificar similaridades e distinções entre as duas abordagens de desenvolvimento. O presente trabalho também teve como objetivo propor encaminhamentos para uma abordagem coesa e interdisciplinar.

4. RESULTADOS

O documento “Um novo Plano de Ação para a Economia Circular” da União Europeia é uma comunicação que apresenta grande parte dos desafios ambientais da Europa para a próxima década, estendendo-se em mais de 20 páginas e explorando categoricamente cada um dos compromissos nos aspectos da prevenção de resíduos, circularidade de materiais e regeneração da natureza.

No texto, utiliza-se constantemente as expressões “fazer cumprir”, “regulamentar”, “fiscalizar”, sugerindo que o processo de transição para uma economia circular não será um processo amistoso, já que esta transição implica em reelaborar processos em cadeias de valores distintas, sendo somente aplicável a partir de medidas regulatórias e criação de diretrizes.

O Plano é amplo e realiza propostas para todas as cadeias de valores que, de alguma forma, geram externalidades negativas para o meio ambiente a partir de sua atividade econômica. Incluem-se nesta lista as cadeias de Eletrônica e Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs); Baterias e veículos; Embalagens; Plásticos; Têxteis; Construção e Edifícios; Alimentos, Água e Nutrientes.

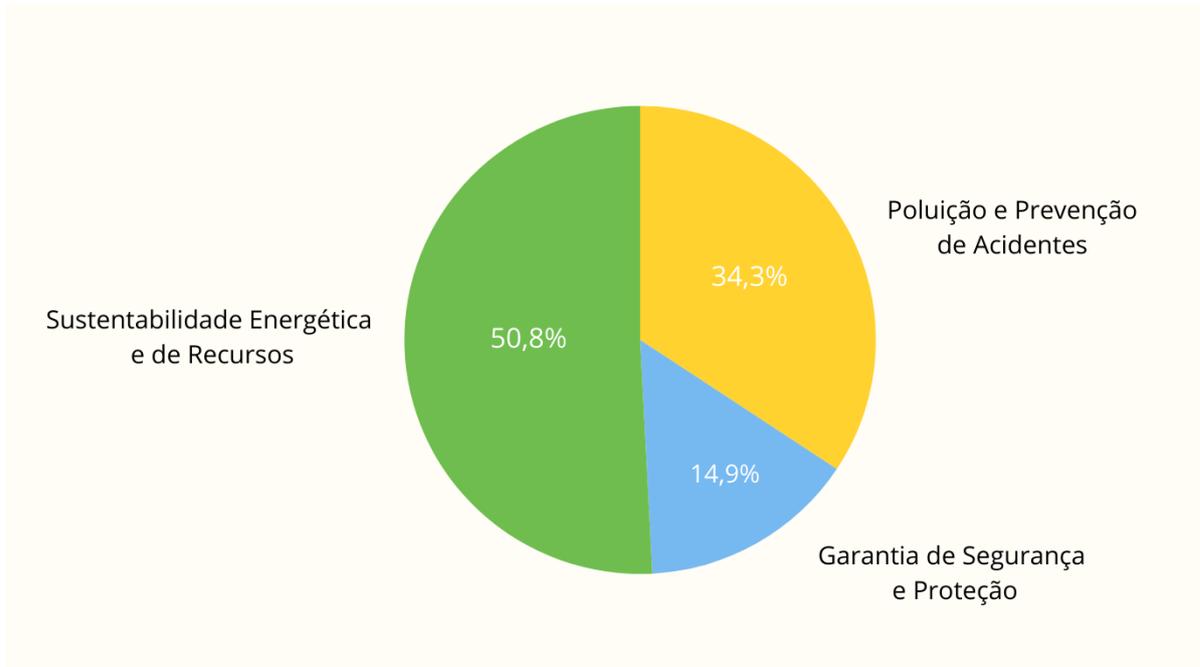
O documento combina aspectos ambientais com preocupações econômicas. Entende-se que a criação de novos postos de trabalho e a redução de custos com matéria-prima estão intimamente ligadas à estratégia de economia circular da UE. O surgimento de novos modelos de negócio baseados no “produto como um serviço” possibilitam a desmaterialização da economia, estimulando a circularidade de materiais. Essa nova dinâmica de consumo propõe, muitas vezes, o oferecimento de serviços em detrimento de produtos, possibilitando uma experiência completamente diferente para o consumidor, em que os produtos não se tornam posse definitiva, mas podem ser utilizados por eles a partir de um serviço de assinatura, por exemplo.

Nota-se que o Plano de Ação não traz grande profundidade às propostas apresentadas. Logo, as táticas não são muito bem exploradas. Explora-se mais “o que fazer”, do que “como fazer”. O Plano apresenta expressões pouco específicas, como “reduzir o excesso de embalagem”, “eliminar a poluição”, “melhorar a recolha seletiva”, “reduzir emissão de gases do efeito estufa”. Entende-se mais a ideia por trás da proposta do que a tática que virá a ser utilizada.

A análise de conteúdo categorial se mostrou um eficiente método de pesquisa, possibilitando um nível de detalhamento pertinente e uma compreensão profunda dos padrões apresentados no texto.

A partir da quantificação das unidades de registro, foram identificadas 242 URs relacionadas com o contexto da química verde. A categoria em cor amarela (Poluição e Prevenção de Acidentes) foi identificada 83 vezes; a cor azul (Garantia de Segurança e Proteção) 36 vezes; a cor verde (Sustentabilidade Energética e de Recursos) 123 vezes. Na Figura 5, está representado o gráfico comparativo percentual das três categorias.

Figura 5 - Gráfico comparativo entre as categorias da Química Verde quantificadas no Plano de Ação



Fonte: Elaborado pelo autor

Em geral, foi notado uma predominância da categoria 3 (Sustentabilidade Energética e de Recursos), com 50,8% das demarcações, acompanhado da categoria 1 (Poluição e Prevenção de Acidentes) com 34,3% e da categoria 2 (Garantia de Segurança e Proteção), com 14,9% das demarcações.

A codificação realizada durante o texto foi bem distribuída, com os grifos amarelos, verdes e azuis concentrados de forma homogênea no documento. Isso indica que embora uma categoria prevalecesse, as três categorias da química verde apareceram de forma interligada, mostrando que a abordagem se apresentou interdisciplinar.

A partir da interpretação das unidades de registro, foi possível encontrar padrões na escrita do documento. Estes padrões tornaram possível a identificação de 20 diferentes temas (propostas), que foram selecionados para análise, pelo fato de possuírem grande proximidade com a abordagem da química verde.

Vale ressaltar que a química verde trabalha, muitas vezes, em nível molecular. No entanto, essa especificidade química não é trabalhada neste Plano de Ação. No documento, são apresentados temas mais generalistas.

As propostas estão representadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Propostas alinhadas à abordagem da química verde no Plano de Ação da UE

Propostas do Plano
Promover o tratamento ou a valorização de resíduos (têxteis, eletrônicos, alimentares, etc)
Reduzir a complexidade de materiais plásticos
Restringir a adição de microplásticos em produtos
Estimular o uso de plásticos biodegradáveis ou compostáveis
Estimular o uso de matéria-prima de base biológica
Evitar que o carbono da atividade econômica seja lançado na atmosfera
Armazenamento, circularidade e eliminação do carbono
Revisar regras e legislações para setores com potenciais de toxicidade
Implementar a “segurança desde a concepção”
Combater produtos químicos perigosos em matérias-primas secundárias
Implementar fluxo de reciclagem e resíduos mais limpos
Implementar sistemas de gestão de qualidade
Implementar sistemas de acompanhamento de substâncias perigosas
Desmaterializar a economia, com menor dependência de matérias-primas primárias
Aumentar níveis de teor reciclado em produtos
Promover reutilização na agricultura, como a partir do reaproveitamento de água
Estímulo à simbiose industrial
Reduzir o consumo de matérias-primas virgens e não-renováveis
Uso de combustíveis alternativos nos transportes
Estimular o uso de materiais biodegradáveis ou compostáveis

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir destas 20 propostas, foi possível fazer reagrupamentos em eixos temáticos, com o intuito de agrupar os temas por similaridade. Os eixos temáticos foram elaborados nesta própria pesquisa e foram denominados, respectivamente, como:

- Gestão de resíduos;

- Combate à poluição por plásticos, microplásticos e embalagens;
- Redução na emissão de gases do efeito estufa;
- Eliminação de substâncias perigosas;
- Gestão da segurança;
- Eficiência de recursos;
- Eficiência energética;
- Materiais de base biológica

Este reagrupamento está representado no Quadro 3.

Quadro 3 - Propostas alinhadas à abordagem da química verde no Plano de Ação UE e seu agrupamento em eixos temáticos

Propostas do Plano	Eixos temáticos
Promover o tratamento ou a valorização de resíduos (têxteis, eletrônicos, alimentares, etc.)	Gestão de resíduos
Reduzir a complexidade de materiais plásticos e de embalagens plásticas	Combate à poluição por plásticos, microplásticos e embalagens
Restringir a adição de microplásticos em produtos	
Estimular o uso de plásticos biodegradáveis ou compostáveis	
Estimular o uso de matéria-prima de base biológica	
Evitar que o carbono da atividade econômica seja lançado na atmosfera	Redução na emissão de gases do efeito estufa
Armazenamento, circularidade e eliminação do carbono	
Revisar regras e legislações para setores com potenciais de toxicidade	Eliminação de substâncias perigosas
Implementar a “segurança desde a concepção”	
Combater produtos químicos perigosos em matérias-primas secundárias	
Implementar fluxo de reciclagem e resíduos mais limpos	
Implementar sistemas de gestão de qualidade	Gestão da segurança
Implementar sistemas de acompanhamento de substâncias perigosas	
Desmaterializar a economia, com menor dependência de matérias-primas primárias	Eficiência de recursos
Aumentar níveis de teor reciclado em produtos	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 3 – Continuação das propostas alinhadas à abordagem da química verde no Plano de Ação UE e seu agrupamento em eixos temáticos

Propostas do Plano	Eixos temáticos
Promover reutilização na agricultura, como a partir do reaproveitamento de água	Eficiência de recursos
Estímulo à simbiose industrial	Eficiência energética
Reduzir o consumo de matérias-primas virgens e não-renováveis, incentivando setores de base biológica	Materiais de base biológica
Uso de combustíveis alternativos nos transportes	
Estimular o uso de materiais biodegradáveis ou compostáveis	

Fonte: Elaborado pelo autor

A formulação desta tabela se faz de grande importância para o trabalho. A partir dela, pode-se selecionar cada proposta para ser relacionada com os GCPs.

Como citado anteriormente, este trabalho não busca delimitar barreiras setoriais entre a economia circular e a química verde, já que a EC atua em um contexto mais amplo e generalista, incluindo todo o circuito econômico, e não apenas o processo industrial.

No contexto de transversalidade, percebe-se que ambas as escolas propõem uma redução na geração de resíduos, mesmo que de formas distintas. No Plano de Ação, o termo “prevenção de resíduos” se mostrou recorrente. De forma similar, o princípio nº 1 da química verde é chamado de “prevenção de resíduos”. Independentemente de um resíduo ser advindo de uma produção industrial (no início do circuito econômico), ou ser um produto na ponta da cadeia (no fim deste circuito), compreende-se que ambos devem evitar ser enviados para o meio ambiente. Desta forma, o termo “resíduo” não foi utilizado de forma setorial, mas sim de forma interdisciplinar, considerando como resíduo tudo aquilo que deve evitar ser descartado no meio ambiente.

O mesmo aconteceu com os outros princípios da QV, que foram trabalhados de forma interdisciplinar, buscando-se contemplar suas potencialidades dentro deste Plano de Ação.

Os tópicos 4.1, 4.2 e 4.3 consistem no tratamento dos resultados, momento em que são feitas as interpretações dos dados. Desta forma, serão exploradas as relações cruzadas entre os GCPs e o Plano de Ação.

4.1. POLUIÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES

Ao analisar o texto sob a categoria “Poluição e Prevenção de Acidentes”, foram selecionadas 83 unidades de registro, demarcadas pela cor amarelo, como explicado anteriormente. A Figura 6 mostra exemplos de demarcações.

Figura 6 - Demarcação das unidades de registro em amarelo, representando a categoria Poluição e Prevenção de Acidentes

4. **MENOS RESÍDUOS, MAIS VALOR**

4.1. **Reforçar a política de resíduos para incentivar a prevenção e a circularidade dos resíduos**

Apesar dos esforços envidados a nível da UE e a nível nacional, a quantidade de resíduos produzidos não está a diminuir. A produção anual de resíduos provenientes de todas as atividades económicas na UE ascende a 2,5 mil milhões de toneladas, ou seja, 5 toneladas per capita por ano, produzindo cada cidadão, em média, quase meia tonelada de resíduos urbanos. Será necessário envidar esforços significativos em toda a cadeia de valor e em cada domicílio para dissociar a produção de resíduos do crescimento económico.

O lançamento da política para a sustentabilidades dos produtos e a sua concretização em legislação específica (consultar as secções 2 e 3) constituirão passos fundamentais para a realização de progressos em matéria de prevenção de resíduos. Precisamos igualmente de desenvolver, reforçar e aplicar melhor a legislação da UE em matéria de resíduos.

Desde a década de setenta, a legislação da UE em matéria de resíduos, apoiada por fundos da UE, traduziu-se em grandes melhorias na gestão dos resíduos. No entanto, esta legislação precisa de ser atualizada de forma permanente

Fonte: Comissão Europeia (2020)

A partir da leitura e interpretação das URs, as principais propostas do texto foram agrupadas em três eixos temáticos: Gestão de resíduos; Combate à poluição por plásticos, microplásticos e embalagens; Redução na emissão dos gases do efeito estufa. Os princípios nº 1 (Prevenção de resíduos) e nº 10 (Produtos degradáveis) foram predominantes nesta abordagem.

A discussão para cada uma dessas áreas foi explorada nos três subtópicos seguintes.

4.1.1. **Gestão de resíduos**

Para a problemática da poluição, o Plano destaca a necessidade de promover uma intensa gestão de resíduos na Europa. Entende-se que essa ação, essencial para a sustentabilidade europeia, está sendo negligenciada por parte dos Estados-Membros, com países longe de alcançar a meta de resíduos reciclados, conforme afirma a Comissão Europeia (2020, p. 14): “São necessários esforços adicionais para apoiar os Estados-Membros ao nível da gestão de resíduos. Metade deles está em risco de não cumprir a meta de reciclagem de 50% dos resíduos urbanos em 2020”.

A partir dessa problemática, o Plano apresenta a expressão "Menos resíduos, mais valor", pretendendo assim, obter altas taxas de recolha de resíduos em cadeias de valores

distintas, como a de eletrônicos e TICs, baterias, construção, alimentos, etc. Os resíduos recolhidos devem passar por um processo de valorização.

A recolha seletiva, embora não represente um processo de prevenção de resíduos ideal, pois seria melhor que os produtos fossem reparados, reutilizados ou degradados antes de serem descartados (Ellen MacArthur Foundation, 2013), continua sendo um eficiente processo de prevenção, já que impede que materiais sejam encaminhados aos aterros sanitários (Conke; Nascimento, 2018).

A recolha seletiva têm sido historicamente utilizada para o encaminhamento dos resíduos para a reciclagem (Conke; Nascimento, 2018), um processo que utiliza grande quantidade de energia para ser realizado. Apesar de uma reciclagem de alta qualidade ser incentivada no Plano, essa não é considerada uma ação prioritária, buscando-se outras formas de valorização de resíduos.

Vale ressaltar, entretanto, que em um mundo altamente industrializado e orientado por uma economia linear, lida-se, muitas vezes, com a necessidade de prevenir que produtos já fabricados se tornem resíduos. Há uma diferença, portanto, entre o ideal e a realidade. A elaboração deste planejamento leva em consideração o fato de que a sociedade já está em desenvolvimento, e que, se for preciso, a recolha seletiva e a reciclagem serão requisitadas, mesmo não sendo a opção mais sustentável.

Desta forma, o Quadro 4 mostra a relação entre o princípio nº 1 da química verde e a gestão de resíduos proposta pelo Plano de Ação.

Quadro 4 - Conexão cruzada entre o princípio nº 1 e a gestão de resíduos proposta pelo Plano de Ação

Princípio da química verde	Proposta do Plano de Ação
GCP nº 1 (Prevenção de resíduos)	<ul style="list-style-type: none"> Promover o tratamento ou a valorização de resíduos (têxteis, eletrônicos, alimentares, etc)

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2. Combate à poluição por plásticos, microplásticos e embalagens

Além de propor uma intensa gestão de resíduos, o documento firma um compromisso para o combate à poluição por plásticos, microplásticos e embalagens. Os plásticos, por serem constituídos, em grande parte, por diferentes polímeros, são materiais de reciclagem dificultada. Essa complexidade, junto da não degradabilidade do plástico, causam a sua persistência no

meio ambiente (Macleod *et al.*, 2021), fator que motiva o documento a propor um olhar diferenciado para este material.

O Plano propõe uma intensa redução na utilização de plásticos ou embalagens plásticas constituídos por mais de um tipo de polímero. O princípio nº 1 aparece como predominante nesta ação, uma vez que reduzir a complexidade de um plástico possibilita a sua reciclagem em momento posterior. Esta ação minimiza o descarte do plástico, promovendo seu uso como matéria-prima secundária na indústria.

Outro ponto abordado no documento é a implementação de um novo diálogo sobre os microplásticos. Tem sido observado, de forma frequente, o aparecimento de microplásticos em corpos d'água e em organismos de animais aquáticos (Flury; Narayan, 2021). A Comissão Europeia propõe, a partir disso, uma restrição à adição de microplásticos de maneira intencional, processo que é feito na produção de cosméticos e produtos de cuidado pessoal, por exemplo. Ao ter como intuito reduzir estes resíduos, esta ação também se alinha ao princípio nº 1.

Para evitar externalidades negativas ligadas ao uso de plástico, o Plano apresenta uma solução considerada inovadora e que está alinhada ao princípio nº 10 da química verde (produtos degradáveis): a utilização de matéria-prima de base biológica para formular plásticos biodegradáveis ou compostáveis.

Sobre este princípio, Rich Williams, em contribuição à American Chemical Society (2021), afirma que:

“O Princípio 10, no entanto, orienta a concepção de produtos que se degradam após a sua função comercial, a fim de reduzir o risco ou a probabilidade de ocorrência de danos. O risco é uma função do perigo inerente de uma molécula e da exposição – contato entre um produto químico e uma espécie. A degradação pode eliminar uma exposição significativa, minimizando assim o risco, independentemente do perigo do produto químico envolvido”.

O Quadro 5 mostra a relação entre os princípios nº 1 e nº 10 da química verde e as propostas apresentadas pelo Plano de Ação.

Quadro 5 - Conexão cruzada entre os princípios nº 1 e nº 10 e o combate à poluição por plásticos, microplásticos e embalagens proposto pelo Plano de Ação

Princípios da química verde	Propostas do Plano de Ação
GCP nº 1 (Prevenção de resíduos)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da complexidade dos plásticos e de embalagens plásticas • Restringir a adição de microplásticos em produtos

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 5 – Continuação da conexão cruzada entre os princípios nº 1 e nº 10 e o combate à poluição por plásticos, microplásticos e embalagens proposto pelo Plano de Ação

Princípios da química verde	Propostas do Plano de Ação
GCP nº 10 (Produtos degradáveis)	<ul style="list-style-type: none"> • Estímulo ao uso de plásticos biodegradáveis ou compostáveis • Estímulo ao uso de matéria-prima de base biológica

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de a sua utilização enfrentar resistência inicial por conta do seu custo mais elevado do que o plástico convencional (Flury; Narayan, 2021), polímeros biodegradáveis são opções viáveis para essa substituição.

4.1.3. Redução na emissão de gases do efeito estufa

Além da abordagem sobre plásticos, o documento traz enfoque para a redução na emissão de gases do efeito estufa (GEE), fenômeno que foi intensificado na última década pelo alargado uso de combustíveis fósseis e pelo setor da agropecuária (Kweku *et al.*, 2018). A Comissão Europeia (2020, p. 18) ressalta a importância da descarbonização da Europa, conforme o seguinte trecho:

“Paralelamente à redução das emissões de gases do efeito estufa, para se alcançar a neutralidade climática também é necessário eliminar carbono da atmosfera, evitar que o carbono utilizado na economia seja libertado e armazená-lo por períodos mais longos. A eliminação de carbono pode ser natural, nomeadamente mediante a recuperação de ecossistemas, a proteção das florestas, a florestação, a gestão silvícola sustentável e o sequestro do carbono pela agricultura, ou basear-se no aumento da circularidade, por exemplo por meio do armazenamento duradouro em construções de madeira, da reutilização e do armazenamento de carbono em produtos, como é o caso da mineralização em produtos de construção”.

Neste contexto, propõe-se a eliminação do carbono com base em sua circularidade, como a partir do seu armazenamento em construções de madeira e em produtos de construção. Essas são estratégias inovadoras, e estão alinhadas ao GCP nº 1 (prevenção de resíduos).

Nota-se, em contrapartida, que o Plano apresentou poucas pautas para energia alternativas. A utilização de combustíveis fósseis, comprovadamente uma das principais causas do aquecimento global neste século (Kweku *et al.*, 2018), segue sendo pouco combatida. Essa falta de priorização se mostra clara, quando a Comissão Europeia (2020, p. 10) afirma que a utilização de matérias-primas de base biológica só será efetuada se ela proporcionar “benefícios ambientais reais, indo além da mera redução da utilização de recursos fósseis”. Nota-se que o

Plano adentra na pauta da transição energética de forma tímida, mesmo que esta seja uma das ações mais proeminentes contra a emissão de gases do efeito estufa.

Essa falta de priorização no combate aos combustíveis fósseis enfraquece o alinhamento dessas medidas com os princípios para a prevenção da poluição e entra em contradição com a proposta de reduzir os gases do efeito estufa. O princípio nº 3 (Sínteses químicas menos perigosas), por exemplo, está intimamente ligado com o processo de descarbonização do planeta, mas se mostrou pouco predominante no Plano de Ação.

A relação entre o princípio nº 1 e as mudanças propostas pelo documento estão explicitadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Conexão cruzada entre o princípio nº 1 e a redução na emissão de gases do efeito estufa proposta pelo Plano de Ação

Princípio da química verde	Propostas do Plano de Ação
GCP nº 1 (Prevenção de resíduos)	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar que o carbono da atividade econômica seja lançado na atmosfera • Armazenamento, circularidade e eliminação do carbono

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2. GARANTIA DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO

A demarcação das unidades de registro na categoria “Garantia de Segurança e Proteção” foi feita utilizando-se de marcador azul, como já especificado, e contabilizou 36 registros. Na Figura 7 estão representados exemplos de demarcações.

Figura 7 - Demarcação das unidades de registro em azul, representando a categoria Garantia de Segurança e Proteção

4.2. Promover a circularidade num ambiente livre de substâncias tóxicas

A legislação e a política da UE em matéria de produtos químicos, nomeadamente o regulamento REACH, incentivam a transição para produtos químicos seguros desde a conceção, promovendo a substituição gradual das substâncias perigosas no intuito de melhorar a proteção dos cidadãos e do ambiente. No entanto, a segurança das matérias-primas secundárias ainda pode ser comprometida se, por exemplo, as substâncias proibidas persistirem na matéria-prima reciclada. Tendo em vista reforçar a confiança na utilização de matérias-primas secundárias, a Comissão irá:

- Apoiar o desenvolvimento de soluções de triagem de alta qualidade e eliminar os contaminantes dos resíduos, incluindo os resultantes de contaminação accidental;
- Desenvolver metodologias para minimizar a presença de substâncias que suscitam problemas sanitários ou ambientais nos materiais reciclados e nos objetos produzidos com estes materiais;
- Cooperar com a indústria com vista ao desenvolvimento gradual de sistemas harmonizados para acompanhar e gerir as informações sobre substâncias que suscitam elevada preocupação e outras substâncias, em especial as que provocam efeitos crónicos³⁹, bem como substâncias que colocam problemas de ordem técnica às operações de valorização e se encontram presentes ao longo das cadeias de abastecimento; identificar tais substâncias nos resíduos, criando sinergias com medidas do quadro estratégico para a sustentabilidade dos produtos e com a base de dados da ECHA sobre artigos que contêm substâncias que suscitam elevada preocupação;

Fonte: Comissão Europeia (2020)

Observando-se a tendência da escrita do documento, agrupou-se as ideias conforme duas grandes ações: Eliminação de substâncias perigosas; Gestão da segurança. Os princípios nº 4 (Projetar produtos químicos seguros) e nº 11 (Análise para prevenção de poluição em tempo real) foram predominantes nesta abordagem.

4.2.1. Eliminação de substâncias perigosas

O Plano aborda estratégias distintas para o contexto de segurança e proteção. Inicialmente, destaca-se a necessidade de identificar cadeias de valores suscetíveis à toxicidade, visando inferir quais substâncias, quando descartadas, podem contaminar o meio ambiente e prejudicar os cidadãos.

O documento sugere a substituição de substâncias perigosas com base no princípio da “segurança desde a concepção”. Entende-se que a etapa de concepção é a etapa mais importante para o desenvolvimento de um produto, justamente porque neste momento há a possibilidade de selecionar reagentes com baixo potencial de toxicidade (Anastas; Warner, 2000). No caso dos resíduos que virão a ser reinseridos na cadeia produtiva, como matérias-primas secundárias, propõe-se “eliminar os contaminantes dos resíduos, incluindo os resultantes de contaminação accidental”. Em outras palavras, busca-se tornar os fluxos de reciclagem e resíduos mais limpos.

Produtos de setores tecnológicos e do setor têxtil são considerados os produtos de maior impacto ambiental, com alto potencial de toxicidade. Para produtos elétricos e eletrônicos, o

Plano propõe revisar as regras que restringem a utilização de substâncias nestes produtos, bem como combater substâncias químicas perigosas em têxteis.

Segundo a Comissão Europeia (2020), menos de 1% dos produtos têxteis são reciclados a nível mundial. A moda rápida, frequentemente apontada como uma das grandes responsáveis pela poluição têxtil a partir de corantes e produtos químicos (Niinimäki *et al.*, 2020), é citada no Plano de Ação, mas de forma pontual. Sugere-se apenas “abordar a moda rápida e impulsionar novos modelos de negócio”. Dentro deste contexto, também são propostos “níveis elevados de recolha seletiva de resíduos têxteis”, assegurados pelos Estados-Membros até o ano de 2025. Há uma grande aproximação dessas medidas com o princípio nº 4 da Química Verde (Projetar produtos químicos seguros), onde produtos devem cumprir sua função apresentando pouca ou nenhuma toxicidade.

Com base no panorama descrito, a relação entre o princípio nº 4 e as mudanças propostas pelo documento estão explicitadas no Quadro 7, a partir da eliminação de substâncias perigosas.

Quadro 7 - Conexão cruzada entre o princípio nº 4 e a eliminação de substâncias perigosas proposta pelo Plano de Ação

Princípio da química verde	Propostas do Plano de Ação
GCP nº 4 (Projetar produtos químicos seguros)	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar regras e legislações para setores com potenciais de toxicidade • Implementar a “segurança desde a concepção” • Combater produtos químicos perigosos em matérias-primas secundárias • Implementar fluxo de reciclagem e resíduos mais limpos

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2. Gestão da segurança

O documento também apresenta alinhamento com o princípio nº 11 (Análise de poluição em tempo real), um princípio que propõe uma análise constante dos indicadores de substâncias nocivas. Ao propor implementar sistema de gestão de qualidade, que são sistemas que permitem a obtenção de *feedbacks* em tempo real sobre contaminantes ou substâncias perigosas, a Comissão Europeia está trabalhando para a minimização da distribuição de produtos perigosos. Seguindo com alinhamento ao princípio nº 11, o Plano propõe o desenvolvimento de sistemas harmonizados com dados atualizados sobre substâncias tóxicas, perigosas ou nocivas.

Assim, a relação entre os princípios da química verde e as mudanças propostas pelo documento estão explicitadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Conexão cruzada entre o princípio nº 11 e a gestão da segurança proposta pelo Plano de Ação

Princípio da química verde	Propostas do Plano de Ação
GCP nº 11 (Análise para prevenção de poluição em tempo real)	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar sistemas de gestão de qualidade • Implementar sistemas de acompanhamento de substâncias perigosas

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3. SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA E DE RECURSOS

A partir da codificação do texto, foram demarcadas 123 unidades de registro na categoria “Sustentabilidade Energética e de Recursos”, na cor verde, como explicado. As demarcações estão exemplificadas na Figura 8.

Figura 8 - Demarcação das unidades de registro em verde, representando a categoria Sustentabilidade Energética e de Recursos

2.3. Circularidade nos processos produtivos

A circularidade constitui um aspeto essencial da transformação da indústria em direção à neutralidade climática e à competitividade a longo prazo, podendo gerar reduções substanciais de custos ao longo das cadeias de valor e dos processos produtivos, criar valor acrescentado e abrir oportunidades económicas. Em sinergia com os objetivos estabelecidos na estratégia industrial ¹⁶, a Comissão incentivará uma maior circularidade na indústria por meio das seguintes medidas:

- Avaliar as possibilidades de imprimir maior circularidade aos processos industriais no contexto da revisão da Diretiva Emissões Industriais ¹⁷, nomeadamente pela inclusão de práticas de economia circular nos próximos documentos de referência sobre as melhores técnicas disponíveis;
- Promover a simbiose industrial através do desenvolvimento de um sistema de certificação e de comunicação de informações liderado pela indústria e estimular a difusão da simbiose industrial;
- Apoiar o setor de base biológica sustentável e circular através da execução do plano de ação para a bioeconomia ¹⁸;
- Promover a utilização de tecnologias digitais para fins de seguimento, localização e mapeamento de recursos;

Fonte: Comissão Europeia (2020)

Com a leitura orientada, foi possível definir três grandes áreas de abordagem para esta categoria: Eficiência de recursos; Eficiência energética; Materiais de base biológica. Os princípios predominantes nesta abordagem são os princípios nº 2 (Economia de átomos), nº 6

(Design para eficiência energética), nº 7 (Uso de matéria-prima renovável) e nº 10 (Produtos degradáveis).

4.3.1. Eficiência de recursos

Para uma eficiência em aspecto de recursos, a Comissão Europeia propõe uma forte desmaterialização da economia, compreendendo a necessidade de fazer uso dos materiais que já estão disponíveis, em detrimento de sintetizar novos materiais. Essa desmaterialização consiste em aplicar medidas de circularidade material, a partir de ações como a reutilização, reparação e reciclagem.

O Plano afirma que as empresas devem estar a serviço da economia circular a partir da elaboração de modelos de negócio que estejam alinhados com essa nova abordagem. Empresas que promovem a ideia de “produto como um serviço” estão aumentando gradativamente na última década (Ellen MacArthur Foundation, 2013), e estão transformando a forma como a economia se organiza comercialmente. Empresas que passam a ofertar serviços e não mais produtos, como a partir do aluguel de carros e bicicletas, realizam a valorização do velho em detrimento do novo, promovendo uma nova filosofia econômica calcada na reutilização, que é mais acessível e sustentável (Stahel, 2016).

Esta nova premissa, que propõe o aumento de vida útil dos produtos, também é contemplada pela utilização de matérias-primas secundárias pela indústria. O princípio nº 2, de economia de átomos, afirma que uma síntese química deve ser formulada para se aproximar de 100% de rendimento, ou seja, todos os materiais utilizados nos processos devem ser incorporados ao produto final. Este seria o cenário ideal em um processo de síntese com matérias-primas primárias. Entretanto, com a enormidade de matérias-primas secundárias disponíveis para serem utilizadas, pode-se promover uma definitiva economia de átomos a partir de sua utilização. Logo, observa-se um alinhamento destas medidas com o GCP nº 2.

O Plano também propõe estabelecer regras para níveis de teor reciclado nos produtos, a fim de aumentar o percentual (%) de materiais reciclados que constituem um produto. Novamente, ao invés de somente utilizar matérias-primas primárias para produzir uma liga metálica, por exemplo, utiliza-se matérias-primas secundárias, sintetizando o mesmo produto a partir de menor quantidade de recursos. Esta sugestão, pela primeira vez, de regras para teor reciclado, também está alinhada ao princípio nº 2, de economia atômica.

Ainda no contexto de circularidade de materiais, a Comissão Europeia (2020, p. 19) apresenta propostas para promover uma melhor gestão dos recursos naturais, a partir de um “espaço de manobra seguro”, conforme é dito no seguinte trecho:

“É cada vez mais necessário avançar no debate da definição de um «espaço de manobra seguro», no qual a utilização de vários recursos naturais não excederia determinados limites locais, regionais ou mundiais e os impactos ambientais seriam à medida dos limites do planeta”.

Propõe-se a redução do uso de recursos virgens, tendo notado que o ritmo atual de extração chegará ao seu limite precocemente. O reaproveitamento ou a circularidade na agricultura é estimulado, como a partir da reutilização de água, promovendo a eficiência hídrica.

Todos esses conceitos estão relacionados ao maior aproveitamento de recursos, estando alinhado ao GCP nº 2.

A relação entre o princípio nº 2 e as mudanças propostas pelo documento estão explicitadas no Quadro 9.

Quadro 9 - Conexão cruzada entre o princípio nº 2 e a eficiência de recursos proposta pelo Plano de Ação

Princípio da química verde	Propostas do Plano de Ação
GCP nº 2 (Economia de átomos)	<ul style="list-style-type: none"> • Desmaterializar a economia, com menor dependência de matérias-primas primárias • Aumentar níveis de teor reciclado em produtos • Promover reutilização na agricultura, como a partir do reaproveitamento de água

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.2. Eficiência energética

Dentro do contexto de eficiência energética, o Plano explora a possibilidade de adaptar a indústria para um novo modelo industrial. Segundo o GCP nº 6 (Busca pela eficiência de energia), um processo industrial deve ser desenhado para tornar o consumo de energia mínimo, ao passo que toda essa energia seja integralmente aproveitada. Alinhado ao GCP nº 6, o Plano introduz o conceito de simbiose industrial, um processo que promove a circularidade energética e de recursos na indústria.

A simbiose industrial é inspirada no processo de simbiose biológica, sendo que neste caso, o processo acontece entre duas corporações. Segundo Chertow (2000), esta abordagem

envolve “entidades tradicionalmente separadas numa abordagem coletiva de vantagem competitiva que envolve troca física de materiais, energia, água e subprodutos”. Visa-se obter vantagens econômicas a partir de um processo colaborativo entre empresas, e que geram externalidades positivas para o meio, inclusive com a economia de energia. Países como Reino Unido, Estados Unidos, Japão e China têm desenvolvido grandes empreendimentos neste setor (Neves *et al.*, 2020).

A partir disso, a relação entre as mudanças propostas pelo Plano e a relação com o princípio nº 6 está explicitada no Quadro 10.

Quadro 10 - Conexão cruzada entre o princípio nº 6 e a eficiência energética proposta pelo Plano de Ação

Princípios da química verde	Proposta do Plano de Ação
GCP nº 6 (Busca pela eficiência de energia)	<ul style="list-style-type: none"> • Estímulo à simbiose industrial

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.3. Materiais de base biológica

No contexto da utilização de materiais de base biológica, destaca-se a necessidade de reduzir o consumo de matérias-primas virgens e não-renováveis. O Plano propõe, para o estímulo à circularidade, a utilização de combustíveis alternativos em transportes, uma proposta alinhada ao GCP nº 7, que estimula o uso de matéria prima renovável.

Ainda neste contexto, são propostas mudanças para materiais de base biológica sempre que possível. Um dos pontos importantes para uma economia circular plena é o planejamento do ciclo de vida de produtos. Quando possível, se torna pertinente a seleção de reagentes de base biológica, pois são renováveis e muitas vezes biodegradáveis. Esta utilização está alinhada ao princípio número 7 e 10 da Química Verde.

A relação entre os princípios da QV e as propostas estão explicitadas no Quadro 11.

Quadro 11 - Conexão cruzada entre os princípios nº 7 e nº 10 e a adoção de materiais de base biológica proposta pelo Plano de Ação

Princípios da química verde	Propostas do Plano de Ação
GCP nº 7 (Uso de matéria-prima renovável)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir o consumo de matérias-primas virgens e não-renováveis, incentivando setores de base biológica

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 12 – Continuação da conexão cruzada entre os princípios nº 7 e nº 10 e a adoção de materiais de base biológica

Princípios da química verde	Propostas do Plano de Ação
GCP nº 7 (Uso de matéria-prima renovável)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de combustíveis alternativos nos transportes
GCP nº 10 (Produtos degradáveis)	<ul style="list-style-type: none"> • Estímulo ao uso de materiais biodegradáveis ou compostáveis

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4. DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos e das conexões cruzadas, identificou-se a presença de 7 GCPs no Plano de Ação. A Figura 9 demonstra o diagrama com a estruturação PAS, representando somente os princípios da química verde que efetivamente foram apresentados no Plano de Ação.

Figura 9 - Diagrama com os princípios que foram efetivamente citados no Plano de Ação



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Tse-Lun Chen *et al.* (2020)

A figura demonstra maior predominância dos GCPs da categoria 3 (Sustentabilidade Energética e de Recursos) sobre as outras categorias. Como destacado anteriormente, mais de

50% das demarcações realizadas no documento se relacionaram com a categoria 3. Esta influência de uma categoria sobre as outras, a princípio, demonstrou uma maior relevância creditada pelo Plano à sustentabilidade de recursos e de energia em detrimento do contexto de poluição e segurança.

Com base na análise de todo o documento, consegue-se inferir que embora as categorias 1 (Poluição e Prevenção de Acidentes) e 2 (Garantia de Segurança e Proteção) também contemplaram cerca de 50% das demarcações, quase sempre seus princípios foram citados como um meio para se atingir um outro objetivo: o de reaproveitamento de materiais. Conseguir limpar materiais, tornando-os menos perigosos, é uma ação realizada em prol da circularidade de materiais. Não objetiva-se reduzir a poluição e a toxicidade por si só. Isso é feito para permitir que estes materiais continuem circulando, aumentando a competitividade e os ganhos econômicos, como é afirmado pela própria Comissão Europeia.

Logo, apesar de as categorias 1 e 2, no contexto de poluição e segurança, terem sido citadas no Plano de Ação com os GCPs nº 1, nº 4, nº 10 e nº 11, sua presença atende, em grande parte, aos interesses da categoria 3, com o reaproveitamento de recursos e energia.

Utilizando de uma produção criativa livre, o diagrama de estruturação PAS pode ser refeito, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Diagrama PAS proporcional à relevância das categorias no Plano



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura mostra a forte influência da sustentabilidade energética e de recursos sobre as outras categorias. Estas duas são utilizadas como um meio para se chegar na circularidade de materiais.

Como forma de validar essa interpretação, pode-se avaliar o motivo da ausência de cinco princípios: GCP nº 3 (Sínteses químicas menos perigosas); GCP nº 5 (Solventes e auxiliares seguros); GCP nº 8 (Redução de derivados); GCP nº 9 (Catálise); e GCP nº 12 (Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes).

O fato de o princípio nº 3 não ter sido citado no documento auxilia a compreender o por que os princípios seguintes também não foram citados. Todos estes, a não ser pelo princípio nº 12, se referem à ações propostas para a etapa de síntese de produtos.

Uma mudança nos solventes auxiliares ou uma redução de derivados, por exemplo, são processos específicos, que só podem ser realizados na etapa de síntese. Compreende-se que os GCPs citados no documento trabalham o conceito de produto mais do que o conceito de síntese. No contexto de segurança e poluição, propõe-se a criação de produtos mais seguros, não sínteses mais seguras. Os produtos são aqueles que não podem ser tóxicos, pois são eles que entram na atividade econômica novamente.

Esta proposta é alinhada com o GCP nº 4 (Desenho de produtos seguros), mas não com o GCP nº 3 (Sínteses químicas menos perigosas). Logo, apesar de propor uma série de propostas inovadoras para o contexto de sustentabilidade e circularidade, o Plano traz um baixo destaque para as sínteses de produtos, processo que promove altos níveis de poluição (Corrêa, 2012).

Com base neste panorama, compreende-se que o documento pode ampliar as propostas para além dos produtos seguros, buscando promover sínteses seguras, o que garante a segurança do processo como um todo. É possível, a partir disso, apresentar encaminhamentos para uma abordagem coesa e transdisciplinar, levando em consideração os seguintes apontamentos:

- É necessário avaliar se os outros documentos, aqueles que englobam as estratégias mais completas para as cadeias de valores da UE, estão abordando a síntese de produtos na indústria com maior grau de especificidade;
- Caso a resposta seja negativa, compreende-se que a economia circular proposta pela União Europeia deve trabalhar, sem contrapartidas, os pilares da EC “Regeneração da Natureza” e “Eliminação de Resíduos e Poluição” com a mesma intensidade que trabalha a “Circularidade de Produtos e Materiais”;
- Como uma forma de integrar a química verde em uma economia baseada na circularidade, pode-se implementar a colaboração interdepartamental e uma nova gestão de produtos químicos industriais, como é sugerido no trabalho de Tse-Lun Chen *et al.*

(2020), em que a integração entre distintos departamentos promove uma maior conexão entre as abordagens sustentáveis;

- Por fim, os especialistas químicos e de áreas correlatas devem ser parte de uma nova economia circular, que valorize uma produção industrial sustentável em todo o processo, e não somente para os produtos comercializáveis.

Com base nestes encaminhamentos, a abordagem química verde-economia circular pode atingir um novo patamar de integração, incluindo um novo direcionamento para processos de síntese de produtos - com maior grau de especificidade - a partir de uma coordenação entre produção industrial e circularidade de materiais.

No contexto de sustentabilidade, o presente trabalho também tem como objetivo a elaboração de uma proposta pedagógica para o Ensino Médio, no âmbito da química verde, explorando os conceitos desta abordagem de desenvolvimento.

5. PROPOSTA PEDAGÓGICA

Neste tópico, será apresentada a proposta pedagógica referente ao presente trabalho, a partir de uma sequência didática.

Compreende-se que a química verde pode se fazer presente em grande parte dos conteúdos lecionados no Ensino Médio pela sua capacidade de se adequar à diversos contextos e áreas de atuação (Prado, 2003). Entretanto, apesar de aparecer de forma pontual, a química verde não é apresentada conceitualmente no Ensino Médio, mesmo sendo considerada uma das correntes de pensamentos mais relevantes para a sustentabilidade no século XXI.

A partir dessa lacuna, esta proposta apresenta a criação de uma sequência didática de enfoque conceitual para a química verde, de forma a apresentar os seus doze princípios de maneira introdutória aos alunos do 3º ano do Ensino Médio, correlacionando-os com a trama do filme *Wall-e* (2008).

Wall-e é uma animação produzida pela *Pixar Animation Studios*, se passando em um futuro distópico em que o planeta se encontra imerso em lixo e poluição. No ano de 2700, o planeta se encontra inabitado, com os seres humanos tendo abandonado a Terra para viver no espaço, até que seja possível retornar ao planeta algum dia. A história apresenta um pequeno robô, de nome *Wall-e*, encarregado de compactar o lixo da Terra e separá-lo para ser enviado para o espaço.

O cenário é de completa destruição, até que uma nova robô chamada *Eva* é enviada para o planeta a fim de buscar sinais vitais na Terra. *Eva* conhece *Wall-e*, e os dois passam a trabalhar juntos, se tornando amigos. A trama mostra *Eva* encontrando sinais vitais na Terra, e sendo chamada de volta para a nave espacial onde habitam os humanos, para trazer a amostra de vida encontrada.

A partir deste acontecimento central, o filme explora a jornada de *Wall-e* enquanto ele segue *Eva* até a nave, de nome *Axiom*, onde os humanos vivem uma vida sedentária, automatizada e sem interações sociais. O filme aborda questões relacionadas ao consumismo desenfreado e destaca a necessidade de os seres humanos progredirem para um nível maior de responsabilidade ambiental. Os dois personagens, juntos, se tornam a última esperança de restauração da Terra, e inspiram os humanos a redescobrirem a importância de cuidar do planeta que habitam.

A partir da trama de *Wall-e*, pretende-se explorar diferentes formas e possibilidades de prevenção de resíduos, promoção de segurança e sustentabilidade a partir de conceitos chave da química verde. A sequência didática é proposta a partir de uma abordagem dialógica,

utilizando o filme como ponto de partida para a exploração dos conceitos da química verde e posterior atividade avaliativa com os alunos.

5.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Esta sequência didática tem como objetivo geral promover a compreensão da importância da química verde para a sustentabilidade global, e tem como público-alvo os alunos do 3º ano do Ensino Médio.

A proposta apresenta os seguintes objetivos específicos:

- I) Analisar criticamente as representações ambientais no filme *Wall-e*, promovendo paralelos com situações reais e cotidianas;
- II) Promover a compreensão dos princípios da química verde;
- III) Incentivar o protagonismo investigativo dos estudantes a partir de uma atividade no laboratório da escola.

5.2. CONTEÚDOS

A sequência didática será realizada a partir da exploração dos seguintes conteúdos: Introdução à química verde; Áreas de atuação; Os doze princípios da química verde; A estruturação PAS da química verde.

A realização desta proposta pode ser inserida na Unidade Curricular (UC) “Meu Papel no Desenvolvimento Sustentável”, disciplina que compõe o Itinerário Formativo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Matemática e suas Tecnologias no Novo Ensino Médio (São Paulo, 2023).

5.3. METODOLOGIA E RECURSOS

A metodologia aplicada para a sequência didática será os três momentos pedagógicos, de Delizoicov e Angotti (1990).

No contexto da educação problematizadora, os três momentos pedagógicos são uma forma de sistematizar a abordagem dialógica de Paulo Freire (1987), que propõe a interação contínua entre educadores e educandos, desafiando a concepção de “educação bancária”, que para ele, promove a despersonalização em massa a partir da simples repetição.

Freire é crítico da educação que padroniza. Para ele, “aprender a ler é aprender a dizer a sua palavra” (Freire, 1987, p. 8). A educação é, portanto, um ato político, e deve ter como objetivo emancipar os atores envolvidos no processo educacional. Neste contexto, a abordagem dos três momentos pedagógicos incorpora a concepção freiriana, incentivando o diálogo a partir da problematização, em cenários nos quais os indivíduos estão inseridos e fazem parte.

Buscando transpor a concepção freiriana, Delizoicov e Angotti (1990) sistematizam sua abordagem a partir de três etapas: Problematização inicial (PI), Organização do conhecimento (OC) e Aplicação do conhecimento (AC).

A etapa de problematização inicial (PI) é caracterizada pela apresentação de cenários conhecidos pelos alunos, dos quais eles fazem parte, e que a partir de seus conhecimentos prévios, podem refletir, opinar e problematizar. São situações reais, cotidianas, que ativam o seu imaginário, mas que para serem compreendidas em sua totalidade, necessitam do aprendizado de novos conhecimentos, que são científicos e estão presentes em teorias científicas.

A problematização inicial desta sequência consistirá em dois momentos: primeiramente, será transmitido o filme *Wall-e* em sala de aula, pedindo que os alunos se atentem não somente à trama e aos personagens, como ao cenário e à ambientação do filme; após essa exibição, o professor deverá mediar um diálogo com os alunos para debater as questões apresentadas no filme, criando paralelos com situações reais, próximas e contextualizadas.

O cenário de *Wall-e* mostra-se repleto de elementos e referências ao consumo acelerado, que resultaram em um planeta coberto de resíduos, com um ar tóxico e com níveis alarmantes de temperatura. O diálogo deve relacionar este cenário distópico com a atuação econômica vigente, estimulando os alunos a pensarem sobre os desdobramentos da economia linear, e a possibilidade destas ações desencadearem um cenário como o representado no filme.

Deve-se pensar em questões norteadoras, próximas da realidade dos alunos, que não são fixas, e devem ser elaboradas conforme a realidade de cada turma. Apesar de cada cidade ou região ter sua particularidade no tocante à problemáticas ambientais, é preciso introduzir temáticas voltadas ao sistema produtivo, que podem ser as indústrias, o agronegócio, o setor de serviços, ou qualquer outro setor que gere externalidades negativas a partir de sua atividade econômica, implicando em riscos ao bem-estar de vida da população local. Serão reservadas 4 horas/aula para a problematização inicial, que conterà a exibição do filme e a discussão em sala de aula.

A etapa de organização do conhecimento (OC) é caracterizada por sistematizar os conhecimentos científicos necessários para a compreensão da problemática inicial em sua

totalidade, criando a possibilidade de resolução deste problema, e também de outros. Neste momento, é importante que a exposição do conteúdo não seja completamente transmissiva, continuando com o incentivo ao diálogo.

Nesta etapa, para esta sequência didática, será introduzido o conceito de química verde, junto das áreas de atuação que ela pode abranger e também apresentando o seu panorama histórico. É preciso deixar claro que esta abordagem, apesar de ser projetada para processos industriais, pode ser aplicada no âmbito cotidiano.

A aula deve seguir a partir da exposição dos doze princípios idealizados por Paul T. Anastas e John C. Warner (2000), e para tornar mais facilitada a apreensão destes princípios, pode-se apresentar a estruturação PAS da química verde, que sistematiza esta abordagem em 3 categorias distintas. Deve-se incentivar a reflexão sobre a utilização dos doze princípios para a resolução das problemáticas citadas anteriormente. Serão reservadas 6 horas/aula para a organização do conhecimento.

A aplicação do conhecimento (AC) é o momento no qual o aluno, de forma ativa, faz utilização dos conhecimentos científicos dentro de um determinado contexto. Para a aplicação do conhecimento, será realizada uma atividade em grupo, com uma proposta investigativa. O professor ficará responsável por separar os alunos em três grandes grupos, sendo que cada grupo fará essa atividade com base em uma das categorias da química verde, conforme a estruturação PAS proposta por Tse-Lun Chen *et al.* (2020). A partir dessa divisão, os grupos devem ser encaminhados ao laboratório da escola, observando como cada um dos princípios da química verde podem contribuir para a melhoria do laboratório. Deve-se atentar apenas ao seu conjunto de princípios, da sua categoria.

Os três grupos, cada um com sua categoria, devem ser capazes de sugerir pelo menos uma proposta de mudança para o laboratório, para cada GCP da sua área. Como são 5 GCPs para cada categoria, 5 propostas devem ser feitas. Essas propostas devem ser apresentadas nas duas próximas aulas. Somando a ida ao laboratório, as elaborações das propostas e as apresentações para a turma, a aplicação do conhecimento necessitará de 4 horas/aula.

Esta sequência didática necessitará dos seguintes recursos: lousa, giz, *notebook* e televisor para transmissão do filme, *internet*, *slides*. A sequência de aulas está representada no Quadro 12.

Quadro 13 - Sequência de aulas da proposta pedagógica

Sequência de aulas	Descrição das aulas
Aulas 1-2	Exibição do filme <i>Wall-e</i>
Aulas 3-4	Discussão sobre o filme e reflexão sobre suas representações ambientais; problematização da economia linear a partir da realidade material dos alunos
Aulas 5-6	Introdução sobre química verde e suas áreas de atuação; contextualização histórica
Aulas 7-8	Apresentação dos doze princípios da química verde, expondo a estruturação PAS
Aulas 9-10	Continuação da estruturação PAS, compreensão da categorização dos doze princípios nas três grandes áreas
Aulas 11-12	Avaliação em grupo: divisão do grupos, ida ao laboratório e elaboração de propostas pelos grupos
Aulas 13-14	Continuação da avaliação em grupo: apresentação das propostas para a turma com base nas categorias da química verde

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4. RESULTADOS ESPERADOS

Com base nesta sequência didática, objetiva-se incentivar o estabelecimento de uma nova concepção ambiental por parte dos alunos, sobretudo a partir de um protagonismo investigativo, em que o laboratório será o objeto de estudo da turma.

No momento de aplicação do conhecimento, os doze princípios da química verde podem ser inseridos nos mais diversos contextos, como na minimização de resíduos em práticas experimentais, seleção de reagentes menos tóxicos para a elaboração das atividades, uso de menor quantidade de água, uso de reagentes biodegradáveis nos experimentos, reações

próximas de 100% de rendimento para gerar praticamente nenhum resíduo, reaproveitamento de recursos da cantina para evitar o desperdício, utilização mínima de energia nos experimentos, seleção de reagentes que impossibilitem acidentes no laboratório, uso de substâncias advindas de fontes renováveis, inserção de catalisadores nas reações químicas, dentre muitas outras ações, que podem ser sugeridas pelos alunos e apresentadas para a turma. Estas propostas podem ser formalizadas em um documento e encaminhadas para outros professores e para a gestão da escola. A implementação de uma nova política para o laboratório deve ser uma prática compartilhada, sobretudo com outros professores que utilizam o laboratório.

Os momentos anteriores, de problematização e organização do conhecimento devem ser capazes de estimular o diálogo, sobretudo a partir de problemáticas ambientais próximas e tangíveis, buscando-se compreender os impactos destas atividades locais, e as formas de solucionar as externalidades negativas da atividade econômica, com base nos princípios da química verde.

Esta sequência didática, no contexto da UC “Meu papel no desenvolvimento sustentável”, visa apresentar a abordagem da química verde de forma conceitual, devendo ser responsabilidade do professor incluir estes conceitos nos outros conteúdos de química durante o ano, sempre que tecnicamente viável. A química deve explorar novas possibilidades de síntese de produtos em todas as suas áreas de conhecimento, e a escola da química verde deve ser sempre revisitada pelo professor, como é feito com a tabela periódica, um elemento chave em que o professor de química se apoia e usa como base para a aplicação dos mais diversos conteúdos durante o ano.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste trabalho, pode-se concluir que a presente pesquisa proporcionou apontamentos pertinentes, possibilitando a identificação de similaridades e distinções entre a abordagem da química verde e a economia circular proposta pela UE.

A análise de conteúdo categorial mostrou-se um eficiente método, a partir da possibilidade de sistematização textual do documento, evitando o uso de análise espontânea. A categorização *a priori*, com três categorias pré-estabelecidas, possibilitou a demarcação de 242 unidades de registro no contexto da química verde, possibilitando a identificação de 20 temas alinhados à abordagem da QV.

Com a elaboração de relações cruzadas entre os princípios da química verde e os temas identificados, foi possível destacar as similaridades encontradas, totalizando 7 GCPs presentes no Plano de Ação. No contexto de uma abordagem transdisciplinar, buscou-se transpor os limites disciplinares, extrapolando alguns princípios quando necessário.

Com a categorização das unidades de registro, observou-se uma grande ênfase do documento para a categoria 3 (Sustentabilidade Energética e de Recursos). As categorias 1 (Poluição e Prevenção de Acidentes) e 2 (Garantia de Segurança e Proteção), mostraram-se presentes, cada uma com 2 GCPs, mas em grande parte, a redução da poluição e da toxicidade em produtos foi proposta para possibilitar o reaproveitamento de recursos, como afirma a própria Comissão Europeia.

Fatores como a “segurança desde a concepção”, eliminação de substâncias perigosas em têxteis e eletrônicos e aumento dos níveis de recolha seletiva foram ações citadas no contexto das categorias 1 e 2, mas atendem em grande parte aos interesses da categoria 3, já que o objetivo principal destas ações é promover a circularidade de materiais.

Há uma aproximação nítida do Plano com os GCPs que promovem a segurança dos produtos, e um afastamento dos GCPs que valorizam a segurança do processo como um todo. A ausência do princípio GCP nº 3 (Sínteses químicas menos perigosas) pode ser a demonstração mais clara deste afastamento de um combate às sínteses químicas perigosas como um todo, apontando um descolamento parcial do Plano de Ação com os pilares de “Eliminação de Resíduos e Poluição” e “Regeneração da Natureza”.

Sendo assim, como forma de propor um olhar para as sínteses químicas mais seguras, são propostos encaminhamentos para inspirar a criação de uma abordagem coesa e transdisciplinar. Propõe-se, em primeiro momento, a necessidade de confirmar se os outros documentos (aqueles que são específicos das cadeias de valores), não estão atingindo o seu

ponto máximo de segurança no aspecto das sínteses químicas. Caso isso se confirme, uma nova abordagem química pode ser implementada, a partir de sistemas de colaboração interdepartamental e com uma integração de especialistas químicos e de áreas correlatas para esta nova economia, baseada na circularidade.

Como forma de implementar o conceito de química verde no Ensino Médio, foi proposta uma sequência didática apoiada na metodologia dos “três momentos pedagógicos”, aplicada na unidade curricular (UC) “Meu papel no desenvolvimento sustentável”.

Esta sequência de aulas conta com uma abordagem dialógica, a partir da problematização do filme *Wall-e* e suas relações com a economia linear, representada nas problemáticas locais. São apresentados conceitos da química verde como uma forma de solucionar os problemas identificados pelos alunos para, enfim, realizar a aplicação do conhecimento, propondo uma atividade em grupo investigativa, em que os alunos são encorajados a propor mudanças para o laboratório da escola, com base nos 12 princípios da química verde. A atuação do professor de química deve contemplar, sempre que possível, a química verde unida aos conteúdos lecionados, aplicando-a mais diversos contextos e situações.

Com base neste panorama, conclui-se que o trabalho atingiu os objetivos estabelecidos, identificando padrões na política de sustentabilidade europeia, propondo novas medidas para uma economia circular e possibilitando o aprendizado destes conhecimentos na escola, junto aos alunos do Ensino Médio.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **12 Princípios da Química Verde**: design para degradação. 2021. Disponível em: <https://www.acs.org/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- ANASTAS, Paul T; WARNER, John C. **Green Chemistry: Theory and Practice**. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- AUSTIN, Wendy; PARK, Caroline; GOBLE, Erika. From Interdisciplinary to Transdisciplinary Research: a case study. **Qualitative Health Research**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 557-564, abr. 2008. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1049732307308514>. Acesso em 25 jul. 2023.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- CELLARD, André. A análise documental. In: POUPART, J. *et al.* **A pesquisa qualitativa**: enfoques epistemológicos e metodológicos. Petrópolis, Vozes, 2008.
- CHEN, Jian Zhong. Material flow and circular economy. **Systems Research And Behavioral Science**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 269-278, mar. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/sres.968>. Acesso em 25 jul. 2023.
- CHEN, Tse-Lun *et al.* Implementation of green chemistry principles in circular economy system towards sustainable development goals: challenges and perspectives. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 716, n. 136998, p. 1-16, maio 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020>. Acesso em: 22 jan. 2024.
- CHERTOW, Marian R. INDUSTRIAL SYMBIOSIS: literature and taxonomy. **Annual Review Of Energy And The Environment**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 313-337, nov. 2000. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>.
- COMISSÃO EUROPEIA. Direção-Geral do Ambiente. **Um novo Plano de Ação para a Economia Circular**: Para uma europa mais limpa e competitiva. Bruxelas, 2020. 22 p. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- CONKE, Leonardo Silveira; NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 199-212, abr. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.ao14>. Acesso em: 17 jan. 2024.
- CORRÊA, Arlene Gonçalves. **Química verde: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EdUFSCar, 2012. 172 p. Série de textos da Escola de Verão em Química, vol. V.
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Acordo de Inovação para a economia circular**. 12 set. 2022. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/exemplos-circulares/acordo-de-inovacao-para-a-economia-circular>. Acesso em 03 ago. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**: economic and business rationale for an accelerated transition. [S. L]: Ellen Macarthur Foundation Publishing, 2013. 98 p. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>. Acesso em: 22 jan. 2023.

EUROSTAT. **Waste statistics**. 2023. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics. Acesso em: 05 ago. 2023.

FLURY, Markus; NARAYAN, Ramani. Biodegradable plastic as an integral part of the solution to plastic waste pollution of the environment. **Current Opinion In Green And Sustainable Chemistry**, [S.L.], v. 30, p. 100490, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100490>. Acesso em: 17 jan. 2024.

FRANCO, Maria Laura Puglisi Barbosa. **Análise de conteúdo**. Brasília: Liber Livro, 2008.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 17 ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1987.

GEISSDOERFER, Martin *et al.* The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 143, p. 757-768, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>. Acesso em 03 ago. 2023.

IDEIA CIRCULAR. **O que é Economia Circular?** 2021. Disponível em: <https://ideiacircular.com/economia-circular/>. Acesso em: 23 jan. 2024.

JOINT RESEARCH CENTRE. **A systematic analysis of EU publications on the circular economy**. 2023. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/33360de7-eaf9-11ed-a05c-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-288626610>. Acesso em: 13 jul. 2023.

KWEKU, Darkwah *et al.* Greenhouse Effect: greenhouse gases and their impact on global warming. **Journal Of Scientific Research And Reports**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1-9, 15 fev. 2018. Sciencedomain International. <http://dx.doi.org/10.9734/jsrr/2017/39630>. Acesso em: 19 jan. 2024.

LENARDÃO, Eder João; FREITAG, Rogério Antônio; DABDOUB, Miguel J.; BATISTA, Antônio C. Ferreira; SILVEIRA, Claudio da Cruz. "Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa: os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 123-129, jan. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422003000100020>. Acesso em 03 ago. 2023.

LIU, Jianguo *et al.* Systems integration for global sustainability. **Science**, [S.L.], v. 347, n. 6225, p. 1258832, 27 fev. 2015. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1258832>. Acesso em 03 ago. 2023.

MACLEOD, Matthew; ARP, Hans Peter H.; TEKMAN, Mine B.; JAHNKE, Annika. The global threat from plastic pollution. **Science**, [S.L.], v. 373, n. 6550, p. 61-65, 2 jul. 2021. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.abg5433>. Acesso em: 17 jan. 2024.

NCUBE, Amos *et al.* Circular Economy and Green Chemistry: the need for radical innovative approaches in the design for new products. **Energies**, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 1-21, 9 fev. 2023. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/en16041752>. Acesso em: 22 jan. 2024.

NEVES, Angela *et al.* A comprehensive review of industrial symbiosis. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 247, p. 119113, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>. Acesso em: 15 jan. 2024.

NIINIMÄKI, Kirsi *et al.* The environmental price of fast fashion. **Nature Reviews Earth & Environment**, [S.L.], v. 1, n. 4, p. 189-200, 7 abr. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>. Acesso em: 19 jan. 2024.

OLIVEIRA, Denize Cristina de. Análise de Conteúdo Temático-Categorial: uma proposta de sistematização. **Rev. Enferm.** Uerj, Rio de Janeiro, p. 569-576, out. 2008.

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 2016.

PRADO, Alexandre G. S.. Química verde, os desafios da química do novo milênio. **Química Nova**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 738-744, out. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422003000500018>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SÃO PAULO. Secretaria da Educação. **Meu papel no desenvolvimento sustentável: Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Matemática e suas Tecnologias**. [S. l.], 2023. Disponível em: https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/wp-content/uploads/2023/01/MAPPA-UC4-CNT_MAT.pdf. Acesso em: 18 fev. 2024.

SARIATLI, Furkan. Linear Economy Versus Circular Economy: a comparative and analyzer study for optimization of economy for sustainability. **Visegrad Journal On Bioeconomy And Sustainable Development**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 31-34, 24 maio 2017. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/vjbsd-2017-0005>. Acesso em: 05 ago. 2023.

SILVESTRI, Cecilia *et al.* Green chemistry contribution towards more equitable global sustainability and greater circular economy: a systematic literature review. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 294, p. 126137, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126137>. Acesso em 05 ago. 2023.

SMIEJA, Jonathan M.; BABCOCK, Kaitlyn E.. The intersection of green chemistry and Steelcase's path to circular economy. **Green Chemistry Letters And Reviews**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 331-335, 2 out. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17518253.2017.1383516>. Acesso em 03 ago. 2023.

STAHEL, Walter R. The circular economy. **Nature**, [S.L.], v. 531, n. 7595, p. 435-438, 23 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/531435a>. Acesso em: 17 jan. 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Life cycle management: a business guide to sustainability, 2007**. (Report). Acesso em 25 jul. 2023.

WALL-E. Direção de Andrew Stanton. Estados Unidos: Pixar Animation Studios, 2008. Color. Legendado.