

## A química verde e sustentável: Dos princípios à inserção na educação química

Rosivânia da Silva Andrade<sup>1</sup> e Vania G. Zuin Zeidler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Colegiado Acadêmico de Ciências da Natureza, Senhor do Bonfim, BA, Brasil. <sup>2</sup>Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Nachhaltige Chemie, Lüneburg, Germany. E-mails: [rosivania.andrade@univasf.edu.br](mailto:rosivania.andrade@univasf.edu.br); [vania.zuin@leuphana.de](mailto:vania.zuin@leuphana.de)

**Resumo:** A química verde e sustentável têm se constituído como um dos pilares centrais para a construção de uma abordagem química mais adequada à formação sociocientífica. Dito isso, é importante conhecer sobre a origem, as definições, os princípios e os desdobramentos da química verde e sustentável para proporcionar um olhar analítico sobre sua implementação na educação química. Para tanto, inicialmente é apresentada uma revisão teórica sobre as definições e fundamentos da química verde e da química sustentável. Em seguida é realizada uma análise das publicações de circulação nacional e internacional que vem discutindo sobre a química verde e sustentável na educação química. O levantamento reuniu publicações realizadas no período de 1998 a 2019 a partir da metodologia de pesquisa bibliográfica. Os resultados indicam que a inserção da química verde e sustentável nas diferentes áreas e níveis de ensino tem caminhado para uma compreensão conceitual sobre o que é a química verde e a química sustentável e como ambas se integram para atender aspectos econômicos, ambientais e sociais como questões fundamentais.

**Palavras-chave:** química verde, química sustentável, pesquisa bibliográfica, educação química.

**Title:** Green and sustainable chemistry: From principles to insertion in chemical education

**Abstract:** Green and sustainable chemistry has become one of the central pillars for constructing adequate chemical approach to socio-scientific training. It is essential to know the origin, definitions, principles, and developments of green and sustainable chemistry to provide an analytical view at its implementation in chemical education. Therefore, initially a theoretical review is presented on the definitions and foundations of green chemistry and sustainable chemistry. Next, an analysis of national and international publications that have been discussing green and sustainable chemistry in chemical education is carried out. The survey gathered publications carried out in the period from 1998 to 2019 based on the methodology of bibliographic review. The results indicate that the insertion of green and sustainable chemistry, in different areas and levels of education, has been accompanied by a conceptual understanding of what green chemistry and sustainable chemistry are and how both are integrated to meet economic, environmental, and social aspects such as fundamental issues.

**Keywords:** green chemistry, sustainable chemistry, bibliographic research, chemical education.

## Introdução

Reconhecer a importância da química para melhorar a vida das pessoas e garantir o bem-estar do planeta é tratá-la a partir de métodos criativos e inovadores e, com esses, delinear estratégias para reduzir o desperdício, economizar recursos e descobrir alternativas para substâncias perigosas; ou seja, é pensar a química nos pilares econômicos, sociais e ambientais.

O termo "Química Verde" foi estabelecido inicialmente nos EUA, enquanto o termo "Química Sustentável" se estabeleceu na Europa. Hoje, levando em consideração a mudança na química em direção a uma visão holística de práticas verdes e sustentáveis, há uma crescente discussão no contexto internacional sobre a Química Verde e Sustentável (QVS) (United Nations Environment Programme, 2019).

A Química Verde (QV) e a Química Sustentável (QS) têm, em comum, um projeto, fabricação e uso benigno de produtos e serviços químicos eficientes, efetivos, seguros e inofensivos ao meio ambiente. No entanto, enquanto a Química Verde se dedica, principalmente, a questões técnicas e de engenharia, como síntese, economia de átomos e uso de solventes, e, portanto, deriva de uma perspectiva de design e produção, a Química Sustentável abrange todas as etapas do ciclo de vida, bem como implicações diretas e indiretas nas áreas circundantes, abordando diferentes perspectivas, além de aspectos ambientais como economia e sociedade (Blum *et al.*, 2017).

Hoje, as transições são fluidas, de modo que, as inovações em Química Verde e sustentável adotam abordagens comuns ao gerenciamento de produtos químicos que podem reduzir os riscos para a saúde humana, ecossistemas e economias (United Nations Environment Programme, 2019).

A Química, a partir dessa perspectiva pode ser reconhecida como parte central de uma práxis sustentável e ética, fornecendo soluções para evitar e enfrentar problemas cada vez mais frequentes e complexos, derivados de nosso modo de produção corrente. No entanto, será necessário que ela passe por reestruturações que envolvam, principalmente, a formação de sujeitos comprometidos com o mundo, incluindo também abordagens e práticas de pesquisas, ensino e envolvimento com outras disciplinas e com a sociedade como um todo.

Pesquisas recentes já evidenciam a crescente implementação da Química Verde e Sustentável na Educação, sendo marcada, principalmente, pelas significativas contribuições para a inserção do conceito de sustentabilidade no campo da Química e no crescente interesse em recursos educacionais que possibilite práticas de ensino mais sustentáveis (Prado, 2003; Zuin e Pacca, 2009; Sjöström, Eilks e Zuin, 2016; Andrade e Zuin, 2023a; Andrade e Zeidler, 2023).

Nesse contexto, a Química para um mundo sustentável, requer, além de químicos altamente qualificados, profissionais da educação que promovam uma alfabetização em Química Verde e Sustentável nos diferentes níveis de ensino (Andrade e Zuin, 2023b). Para tanto, a Educação é tida como

essencial e deve se fundamentar em conteúdos que empoderem os sujeitos para participarem e refletirem sobre suas próprias ações no que se refere ao Desenvolvimento Sustentável (DS) (Rauch, 2015).

Portanto, o objetivo desse estudo é analisar de que maneira a Química Verde e a Química Sustentável vem sendo descrita na literatura nacional e internacional, de modo a compreender como os pesquisadores da área tem avançado na práxis da Química Verde e Sustentável na Educação Química. Em particular, este estudo responde às seguintes questões de pesquisa:

1. Quais os fundamentos e princípios da Química Verde e da Química Sustentável desde a sua origem até os dias atuais?

2. Como a Química Verde e a Química Sustentável estão sendo implementadas na Educação Química?

Portanto, essa não é uma análise de resultados estatísticos publicados, mas um exame do impacto da Química Verde e Sustentável na Educação Química para se pensar e desenvolver novos modos de ensinar e aprender essa ciência.

Para tanto, a seguir será apresentada uma visão geral da origem, princípios e fundamentos da Química Verde e da Química Sustentável, do ponto de vista histórico. Em seguida, uma análise de como a Química Verde e Sustentável estão sendo inseridas em pesquisas na área da Educação Química.

### **Química verde**

A geração de produtos e subprodutos tóxicos, que levam à contaminação do ambiente, incluindo os seres humanos, tornou-se uma preocupação, aumentando a pressão sobre as indústrias químicas e demais fontes poluidoras, tanto por parte da sociedade civil, quanto das autoridades governamentais (Corrêa e Zuin, 2009).

A necessidade de um desenvolvimento harmonioso entre os setores econômico, social e ambiental requer que a química se apresente, sob uma nova conduta, para que processo e produtos sejam aprimorados, no sentido de minimizar a geração de resíduos e efluentes tóxicos. Essa filosofia, conhecida como Química Verde, foi definida por Anastas e Warner (1998) como a utilização de um conjunto de princípios que promove a redução ou eliminação do uso, ou a geração de substâncias perigosas no projeto, fabricação e aplicação de produtos químicos.

A preocupação com a geração de resíduos tóxicos e persistentes tem início na década de 1960 marcada pela publicação do livro científico *Silent Spring*, de Rachel Carson, em 1962. Carson descreveu a devastação que certos produtos químicos tiveram nos ecossistemas locais. Seu livro foi um alerta sobre as questões ambientais para o público e para os cientistas, além de inspirar o movimento ambiental moderno. Em 1969, o Congresso dos EUA reconheceu a importância da questão e aprovou a *National Environmental Policy Act* (NEPA). O objetivo da lei era criar e manter condições sob as quais as pessoas e a natureza pudessem existir em harmonia produtiva. Além disso, solicitava um Conselho Presidencial de Qualidade Ambiental (Marco *et al.*, 2019; American Chemical Society, 2010).

Na década de 1970, houve o estabelecimento da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (*Environmental Protection Agency – EPA*), uma agência reguladora federal dedicada, exclusivamente, à proteção da saúde humana e do meio ambiente. A primeira grande decisão da EPA foi proibir o uso de DDT e outros pesticidas químicos (American Chemical Society, 2010). Nessa mesma década, em 1973, o professor Barry Trost propôs a “economia de átomos”, atualmente um dos princípios da Química Verde. Para ele, a mensuração do sucesso de um processo químico deveria ser feita de acordo com a eficiência da reação, na qual o máximo possível de átomos do reagente deveria estar no produto (Woodhouse e Breyman, 2005).

Até a década de 1980, a indústria química e a EPA estavam concentradas, principalmente, na limpeza da poluição e toxinas, mas uma grande mudança de paradigma começou a ocorrer entre os químicos. Com a crescente conscientização ambiental, líderes da indústria e do governo começaram a pesquisar caminhos para prevenir a poluição, logo, iniciaram conversas internacionais abordando os problemas e procurando soluções preventivas (American Chemical Society, 2010).

Diante desse cenário, durante a década de 1980, a *Organization for Economic Co-operation and Development* (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico), uma organização internacional de mais de 30 países industrializados, realizou reuniões abordando questões ambientais com o objetivo de estabelecer recomendações internacionais focadas em uma mudança cooperativa nos processos químicos existentes e na prevenção da poluição. Como produto, foi estabelecido o Escritório de Prevenção da Poluição e Tóxicos em 1988 (Linthorst, 2010).

A década de 1990 marcou a aceitação acelerada da prevenção da poluição e o estabelecimento da Química Verde como um campo científico legítimo. Os primeiros passos relacionados à institucionalização da Química Verde foram dados com a Lei de Prevenção da Poluição criada em 1990 nos Estados Unidos que estabeleceu, como prioridade, a solução dos problemas ambientais e a redução nas fontes (Anastas e Kirchhoff, 2002).

No ano seguinte, a agência ambiental norte-americana (*“Environmental Protection Agency”, EPA*) lançou o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”, com o objetivo de financiar projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção de poluição em suas sínteses. Em 1992, o respectivo programa incluiu outros temas, tais como: solventes ecológicos e produtos químicos mais seguros. Ademais, houve a expansão e renomeação deste programa, que a partir de então, adotou, oficialmente, o nome de Química Verde. Alguns anos depois, em 1995, o Governo dos EUA instituiu o programa *The Presidential Green Chemistry Challenge*, com o objetivo de premiar indivíduos e empresas que buscassem inovações tecnológicas a serem implementadas na indústria para a redução da produção de resíduos na fonte (Corrêa e Zuin, 2009; Farias e Fávaro, 2011).

Na Itália, em 1993, foi estabelecido o Consórcio Universitário Química para o Ambiente (*“Interuniversity Consortium Chemistry for the Environment” – INCA*), com a finalidade de reunir pesquisadores envolvidos com as questões químicas e ambientais para discussão de tópicos de interesse da química mais limpa, através da pesquisa em reações, produtos

e processos mais limpos. Anualmente, o INCA promove sua Escola Internacional de Verão em Química Verde, que reúne estudantes das diferentes áreas de concentração da química de mais de 20 países (Corrêa e Zuin, 2009).

Em 1997 foi criado o Instituto de Química Verde ("*Green Chemistry Institute*" – GCI), que desde janeiro de 2001 tem parceria com a Sociedade Americana de Química ("*American Chemical Society, ACS*"). Nesse mesmo ano, a IUPAC ("*International Union for Pure and Applied Chemistry*") organizou sua Primeira Conferência Internacional em "*Green Chemistry*", em Veneza (Lenardão *et al.*, 2003).

No fim dessa década, em 1998, com o livro *Green Chemistry: Theory and Practice*, Anastas e Warner (1998) estabeleceram os 12 princípios da Química Verde (Quadro 1) e apresentaram uma filosofia que motivou os cientistas, acadêmicos e industriais da época, e continua a orientar o processo do movimento de Química Verde, conquistando cada vez mais espaço em todo mundo, sendo considerada como propulsora para o Desenvolvimento Sustentável.

As principais diretrizes para a prática da Química Verde constituem os chamados doze princípios da Química Verde (Anastas e Warner, 1998; Corrêa e Zuin, 2009), os quais permitem uma concepção do que tornaria um processo, ou produto químico, mais ecológico.

Atualmente, vemos um crescente interesse em relação aos princípios da Química Verde não só por parte da indústria, mas também da academia, instituições governamentais e demais segmentos da sociedade, nacionais e internacionais. Logo, a Química Verde se apresenta como uma ferramenta poderosa, cada vez mais necessária em direção a práticas sustentáveis que associam prosperidade econômica à responsabilidade social e ambiental.

Por conseguinte, a Química Verde, por meio de seus princípios técnicos, se constitui em um dos pilares centrais para a construção de uma abordagem química mais ampla na contemporaneidade e, portanto, adequada para se enfrentar as complexas relações quando pensamos em ambiente, sociedade e economia. Reconhecer a importância da química para melhorar a vida das pessoas e garantir o bem-estar do planeta é tratá-la a partir de métodos criativos e inovadores e, com esses, traçar estratégias para reduzir o desperdício, economizar energia e preservar os recursos naturais.

### **Química sustentável**

A noção de Química Sustentável também foi desenvolvida nos anos 90, iniciada, mais precisamente, em 1998, com a *Organization for Economic Co-operation and Development* (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), essa que é focada, principalmente, no desenvolvimento de orientações para o estabelecimento de programas de pesquisa e desenvolvimento em Química Sustentável, desempenhando um papel importante no avanço desse conceito (*Organization for Economic Co-operation and Development*, 2012).

Desde 2002, em nível político global, as Nações Unidas conduzem e promovem um debate internacional sobre Desenvolvimento Sustentável.

Em 2004, no *International Workshop on Sustainable Chemistry*, um desenvolvimento adicional do conceito de sustentabilidade, o qual leva em conta as fronteiras planetárias, foi proposto, conjuntamente, pelas Agências Alemãs (*Federal Institute for Occupational Safety and Health – BauA e German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety – BMU*) e pela OECD (*Umweltbundesamt, 2004; United Nations Environment Programme, 2019*).

**1. Prevenção**

Prevenir a formação de resíduos é melhor e mais barato que a remediação ou tratamento posterior deles.

**2. Economia de átomos**

As reações devem ser desenhadas para maximizar a incorporação de todos os átomos dos reagentes nos correspondentes produtos.

**3. Reações com compostos de menor toxicidade**

Sempre que possível, as reações devem ser projetadas para usar e gerar substâncias que apresentem pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.

**4. Desenvolvimento de produtos químicos seguros**

Os produtos químicos devem ser projetados de modo que cumpram a função desejada e apresentem pouca ou nenhuma toxicidade.

**5. Redução do uso de solventes e auxiliares**

O uso de substâncias auxiliares (por exemplo, solventes, agentes de separação etc.) deve ser evitado sempre que possível e, quando necessário, estes devem ser inócuos.

**6. Eficiência energética**

As exigências energéticas dos processos químicos devem ser reconhecidas por seus impactos ambientais e econômicos e devem ser minimizadas. Se possível, os métodos sintéticos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambiente.

**7. Uso de matérias-primas renováveis**

O uso de matéria-prima renovável deve ser escolhido em detrimento de fontes não-renováveis (como petróleo).

**8. Evitar a formação de derivados**

A derivatização desnecessária (uso de grupos de bloqueio, proteção/desproteção, modificação temporária de processos físicos/químicos) deve ser minimizada ou evitada, se possível, porque tais etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

**9. Catálise**

Os reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são superiores aos reagentes estequiométricos.

**10. Desenvolvimento de substâncias degradáveis**

As substâncias devem ser projetadas de forma que, ao final de sua função, sejam decompostas em produtos inócuos e que não persistam no ambiente.

**11. Análise em tempo real para prevenção de poluição**

Métodos analíticos precisam ser desenvolvidos e aplicados para permitir monitoramento e controle em tempo real, em processo, antes da formação de substâncias perigosas.

**12. Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes**

As substâncias usadas em um processo químico devem ser escolhidas de forma a minimizar o potencial de acidentes, como vazamentos, explosões e incêndios.

Quadro 1 – Os 12 Princípios da Química Verde. Fonte: Adaptado de Anastas e Warner (1998) e Corrêa e Zuin (2009).

Hoje existem várias definições sobre Química Sustentável, entre elas, a da Organização *Chemistry Europe*, essa que entende a Química Sustentável

em uma percepção interdisciplinar da química e das necessidades humanas e do ambiente (SUSCHEM, 2019). Enquanto, a American Chemical Society (ACS) e a EPA dos EUA usam o termo “Química Sustentável” como sinônimo de “Química Verde” (American Chemical Society, 2019a; Environmental Protection Agency, 2008).

Embora as definições aceitas, em todo o mundo, ainda estejam em desenvolvimento, a OECD caracteriza a Química Sustentável como “um conceito científico que busca melhorar a eficiência com a qual os recursos naturais são usados para atender às necessidades humanas de produtos e serviços químicos” (*Organization for Economic Co-operation and Development*, 2019).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (*Organization for Economic Co-operation and Development*, 2019) apresenta, dentre os benefícios ambientais e sociais da Química Sustentável:

- Evitar o uso de materiais persistentes, bioacumulativos, tóxicos ou outros perigosos;
- Utilizar recursos renováveis e diminuir o consumo dos não renováveis;
- Minimizar os impactos ambientais negativos do processamento e fabricação de produtos químicos;
- Fornecer tecnologias vantajosas não apenas para a indústria;
- Promover ações justas, equitativas, inclusivas e diversas, bem como pensamento sistêmico; considerando também, outros campos e setores, como: educação, ética, dentre outros, globalmente.

Em 2015, quando a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável foi adotada, a Química Sustentável passou a ser uma fonte importante de contribuições sustentáveis. Nesse contexto, a Química Sustentável se torna um elemento crítico para se alcançar os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) – estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (2015a; 2015b).

Esses objetivos foram definidos em setembro de 2015, durante uma coletiva global, por 193 membros, de diferentes nações, e deverão ser alcançados até o ano de 2030. A American Chemical Society (2019b) identificou sete ODS prioritários, fundamentais, para o trabalho da comunidade química: fome zero (ODS 2); Boa saúde e bem-estar (ODS 3); água limpa e saneamento (ODS 6); energia limpa e acessível (ODS 7); indústrias, inovação e infraestrutura (ODS 9); consumo e produção responsáveis (ODS 12) e ação climática (ODS 13).

No entanto, gostaríamos de destacar um ODS não inserida e fundamental: educação de qualidade (ODS 4), esse que visa “Garantir até 2030 que todos os alunos adquiram o conhecimento e as habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável” (4.7). Portanto, a Química Sustentável ajudará a cumprir esse objetivo empoderando os estudantes com o conhecimento e as competências que precisam para que estejam mais conscientes de suas práticas cotidianas e aprimorem sua capacidade de resolver questões de sustentabilidade, como também, para

que se envolvam como cidadãos informados na realização da transformação necessária para o ambiente do qual dependem.

O conceito de Química Sustentável deve ser encarado como uma ferramenta importante para abordar a agenda global para 2030, pois sua inserção, no âmbito educacional, representa mudanças significativas no que se refere às concepções de responsabilidade socioambiental, possibilitando que os indivíduos contribuam para alcançar os ODS.

Portanto, a Química Sustentável, hoje, pode ser compreendida como um conceito que vai além das questões tecnocientíficas. As inovações em química, nesse sentido, podem ajudar o mundo a alcançar metas de sustentabilidade, de maneira a reduzir os impactos ambientais, aliviar a fome e melhorar a qualidade de vida.

Considerando a importância da inserção da Química Sustentável como um conceito holístico (United Nations Environment Programme, 2019) e como impulsionadora para o alcance dos ODS (Blum *et al.*, 2017; American Chemical Society, 2019b; Andrade, 2022) foram estabelecidos sete Princípios Orientadores da Química Sustentável a serem aplicados em todas as áreas químicas (Quadro 2).

Analisando esses princípios, observamos que a Química Sustentável é simultaneamente um caminho e uma meta. Não deve ser compreendida como uma nova subdisciplina da química, mas como um princípio norteador em que todas as partes precisam fazer esforços conjuntos para desenvolverem estratégias comuns de ação. Esse novo auto entendimento, de acordo com Kümmerer (2017), é a marca registrada de uma Química Sustentável e a chave para uma verdadeira contribuição sustentável da química para os desafios futuros.

A Química Sustentável é, portanto, uma abordagem holística que busca a produção contínua de produtos químicos mais seguros, tanto pela seleção de alternativas, quanto pela pesquisa e desenvolvimento de novos produtos químicos. Essa abordagem implica que, além da indústria química, os fabricantes de produtos e os consumidores são atores importantes, que têm seu papel na abordagem de inovação de sistemas. Portanto, essa abordagem holística distingue a Química Sustentável da Química Verde ao mesmo tempo em que as integram, estabelecendo uma relação de complementaridade igualmente importantes (Blum *et al.*, 2017).

A Química Verde e Sustentável (United Nations Environment Programme, 2019) cresceu, significativamente, nos últimos anos de forma a beneficiar as pessoas e o planeta à medida em que busca atingir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Enquanto a Química Verde fornece as diretrizes científicas, a Química Sustentável expande o escopo para levar em conta outras dimensões que se relacionam a temas globais.

Estudos ressaltam a necessidade de tornar os princípios da Química Verde e Sustentável parte integrante da educação e prática química (Collins, 2001; Eilks e Zuin, 2018). Portanto, a educação e a inovação em Química Verde e Sustentável estão entre os principais fatores de mudança para o Desenvolvimento Sustentável (United Nations Environment Programme, 2019). Dessa forma, a filosofia, os princípios e a engenharia verde e sustentável devem ser incorporados de acordo com os níveis de



educação para que químicos, engenheiros, e demais ofícios relacionados, tenham uma compreensão de sustentabilidade.

**1. Design e uso de produtos químicos seguros**

Incentiva decisões ambientais que promovam o uso sustentável de recursos e a prevenção de resíduos.

**2. Desenvolvimento e uso de soluções sustentáveis**

A partir da adoção de produtos e processos ecológicos pela indústria, pela academia e pelo governo que beneficie a economia, as pessoas e o ambiente.

**3. Redução de impactos**

Deve ocorrer suporte e realização de avaliações de risco e proteção da saúde humana e do meio ambiente nas atividades desenvolvidas principalmente pela indústria.

**4. Conservação de recursos naturais**

Melhorar a eficiência com que os recursos naturais são utilizados para atender às necessidades humanas, evitando danos ambientais; minimizar o uso de recursos não renováveis.

**5. Considerar o ciclo de vida dos produtos**

Incluir fabricação, uso e descarte, quando avaliar o impacto ambiental de um produto; praticar a economia circular.

**6. Promoção de reutilização e reciclagem**

Adoção de procedimentos que visam aproveitar resíduos, transformando em um novo produto com uma nova função;

**7. Incentivo a práticas sustentáveis**

Por meio de apoio à pesquisa e desenvolvimento em tecnologias sustentáveis, assim como, de profissionais para definir e executar o conceito de sustentabilidade.

**8. Aplicação de responsabilidade social**

É necessária uma harmonização global apropriada de iniciativas ambientais, de saúde e segurança para promover a ciência e a tecnologia em todo o mundo.

Quadro 2 – Princípios Orientadores da Química Sustentável. Fonte: Elaborado pelas Autoras.

## Metodologia

As questões de pesquisa são abordadas dentro de uma visão de mundo pragmática (Creswell, 2014), e o delineamento metodológico foi fundamentado na pesquisa bibliográfica (Lima e Mito, 2007; Gil, 2017) a partir da análise de artigos publicados de 1998 - 2019 nas bases de dados *Web of Science*, *Education Resources Information Center* (ERIC) e *Scientific Electronic Library Online* (SciELO). O período de 1998 - 2019 foi selecionado porque as discussões sobre os conceitos de Química Verde e de Química Sustentável tem início em 1998, sendo possível analisar seu desenvolvimento em duas décadas. As bases de dados foram selecionadas por ser conceituada e amplamente utilizada para a pesquisa de publicações em educação.

Na primeira fase, houve o levantamento de artigos nas bases de dados por meio de buscas avançadas pelo conjunto de descritores nas línguas portuguesa ("*Química Verde*" and "*Química Sustentável*" and "*Educação*") e inglesa ("*Green Chemistry*" and "*Sustainable Chemistry*" and "*Education*") para o período de 1998 - 2019. As buscas iniciais identificaram 159 publicações descritas no Quadro 3.

Base de dados	Número de Publicações
Web of Science	93
Education Resources Information Center (ERIC)	48
Scientific Electronic Library Online (SciELO)	18

Quadro 3: Quantitativo de resultados/publicações nas diferentes bases de dados selecionadas a partir dos descritores definidos a priori. Fonte: Elaborado pelas Autoras.

A partir desse levantamento inicial foram lidos os títulos, resumos e palavras-chave de cada publicação. A partir dessa leitura inicial foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão, a saber:

- Critérios de inclusão: fazer menção aos termos Química Verde e Química Sustentável (ou Sustentabilidade). Ser uma publicação na área da Educação/Ensino de Química.
- Critérios de exclusão: artigos localizados em mais de uma base de dados. Não atender aos critérios de inclusão.

Essa análise preliminar resultou em 45 publicações que correspondem ao objeto em estudo nessa pesquisa. Em seguida, houve a sistematização desses trabalhos no *Microsoft Excel 2019*, organizando-os em termos de ano, área, título, autores e/ou autoras, base de dados onde foi localizado, revista que ocorreu a publicação, o país onde foi desenvolvido a pesquisa/instituição dos autores e o nível de ensino a que corresponde. Essa sistematização viabilizou uma análise inicial das publicações analisadas.

Durante a segunda fase, os artigos foram lidos na íntegra. Para cada artigo foi realizado uma síntese contendo: questão de pesquisa, objetivos, comentários e observações realizados pelas autoras, além das ideias-chave para auxiliar na discussão.

A partir dessa análise emergiu três categorias com objetivo de analisar como a Química Verde e a Química Sustentável estão sendo implementadas nas pesquisas em Educação Química. A saber:

- **Sinônimo** - em que a Química Verde e Química Sustentável são tratadas como sinônimos, não compreendendo o sentido mais amplo da QS;
- **Recurso** - reconhece que a Química Verde e Química Sustentável não são sinônimos e enfatiza o uso da QV (filosofia e princípios) como recurso para alcançar a QS no sentido do desenvolvimento de práticas sustentáveis;
- **Integração** - os princípios e filosofia da Química Verde e Química Sustentável devem ser desenvolvidas em colaboração para integração da visão holística desses conceitos.

Diante das diferentes abordagens de pesquisas identificadas em cada uma das categorias descritas acima houve a necessidade de definir subcategorias com objetivo de identificar as abordagens de pesquisas realizadas sobre a Química Verde e Sustentável na Educação Química, a saber:

- **Perspectivas teóricas** - incluem artigos que discutem a importância de conceitos de Química Verde e Sustentável no currículo, que analisam avanços dessa temática dentro de universidades ou que sugerem a implementação que cumprirão esses conceitos.
- **Práticas experimentais** - se referem às publicações que explicitam práticas laboratoriais verdes e sustentáveis voltadas para o ensino.
- **Desenhos didáticos** - tratam das publicações que lidam com ideias originais, como softwares inovadores, formato de aulas e cursos, análise de experiências de aplicações de novas metodologias.

Considerados os caminhos metodológicos descritos seguimos para os resultados e análise das publicações selecionadas.

## Resultados e discussões

Embora a Química Verde e Sustentável seja necessária para fornecer uma nova visão e uma filosofia diferente de fazer e usar a química na educação (Eilks e Zuin, 2018; Andrade e Zeidler, 2023), não é visto um aumento significativo de pesquisas em Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS), principalmente se compararmos com as publicações referentes, apenas, à Educação em Química Verde (EQV), como podemos observar no Gráfico 1.

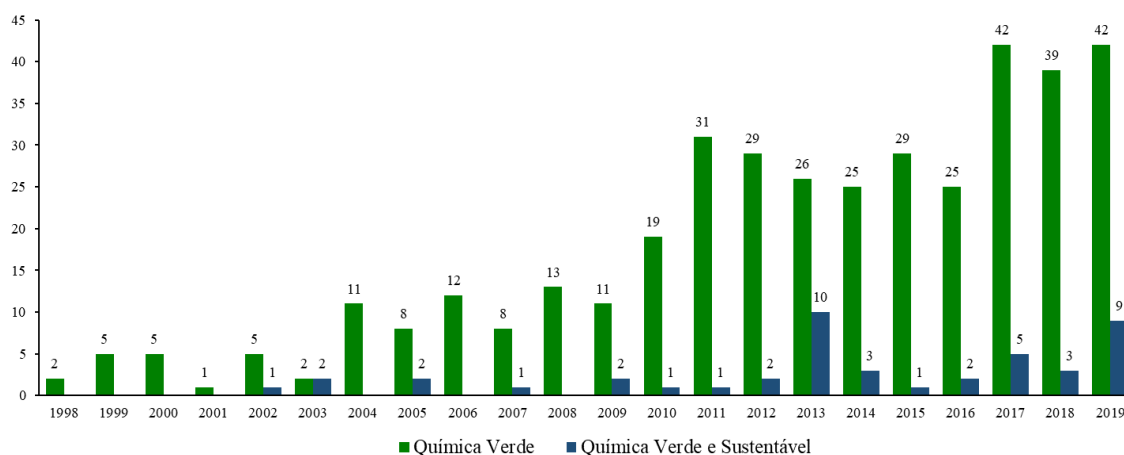


Gráfico 1 – Comparação da distribuição das publicações em Educação em Química Verde (EQV) e Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS) por ano.

Nos últimos anos, a necessidade de tornar o mundo um lugar melhor, em termos de prosperidade e bem-estar, tem levado o interesse da comunidade científica pela Educação em Química Verde e Sustentável, bem como impulsionado a expansão do número de publicações através de conferências.

A *ConfChem – Conference on Educating the Next Generation*, que ocorreu em 2010, organizado pela *Division of Chemical Education (DivCHED)* – que tem, dentre seus papéis, facilitar a incorporação dos princípios de sustentabilidade e Química Verde no currículo de química em vários níveis de ensino – teve sete de seus trabalhos publicados, em 2013, no *Journal of Chemical Education*. Conferências no contexto acadêmico-profissional, como a “*Green & Sustainable Chemistry Conference*”, também

ganham destaque, ocorrendo, desde 2016 e contribuindo com a implementação da visão holística da QVS na Educação.

Grande parte dessas publicações foram realizadas no periódico *Journal of Chemical Education*, correspondendo a 33% dos trabalhos analisados. A *Química Nova*, um periódico nacional, compreendeu 13% de todo o levantamento realizado, colocando o Brasil como um dos produtores de conhecimento na área.

De acordo com o Gráfico 2, o Brasil representa 18% de toda a produção em EQVS encontrada. Essa produção pode ser considerada reflexo do surgimento de Grupos de Pesquisa, como o Grupo de Estudo e Pesquisa em Química Verde Sustentabilidade e Educação, que desde 2010 tem realizado estudos interdisciplinares, incluindo o conhecimento científico, principalmente, nas áreas de Química e Ciências do Ambiente, incluindo a Educação sob uma perspectiva crítica (GPQV). Como também, eventos como o Encontro da Escola Brasileira de Química Verde, que ocorre desde 2010, vem apresentando temas mais integrados à sustentabilidade, promovendo uma visão holística da QVS.

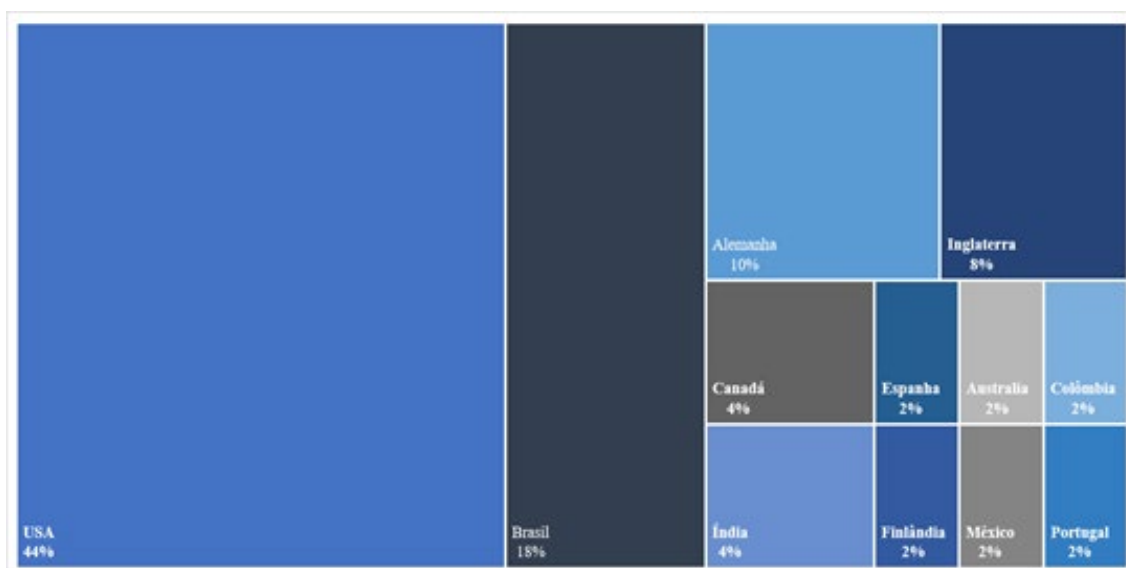


Gráfico 2 – Distribuição das publicações em EQVS por país.

Nesse ranking, o Brasil fica atrás, apenas, dos Estados Unidos (EUA), que abrange 44% de todas as publicações e que possui a maior sociedade química do mundo a *American Chemical Society*.

É importante destacar, também, as produções alemãs (10%) com destaque para as pesquisas realizadas na *Universität Bremen*, a qual possui um Centro de Pesquisa em Sustentabilidade (*Sustainability Research Center – ARTEC*), um centro interdisciplinar, incluindo professores das Ciências Sociais, Engenharia de Produção, Economia, Pedagogia, Ciências da Educação e Ciências Humanas e da Saúde. Além de promover eventos como *Symposium on Chemistry and Science Education*, que em seus últimos anos tem dado ênfase na Educação para o Desenvolvimento Sustentável (*Universität Bremen*, 2019).

Na Inglaterra, com 8% da produção mundial sobre o tema, destacamos as ações da *Universidade de York*, que trabalha, conjuntamente, com

funcionários, estudantes e a comunidade para incorporar o pensamento sustentável em todas as áreas da Universidade, a partir de ações como: consumir e adquirir mercadorias com mais responsabilidade, manter a sustentabilidade na vanguarda de nossa pesquisa, trabalhar ao lado de nossa comunidade e meio ambiente locais, incorporar a sustentabilidade em nossa educação e promoção da saúde e bem-estar (Universidade de York, 2013).

As pesquisas desenvolvidas nos diferentes países, sobre a Química Verde e Sustentável, no âmbito educacional, têm sido incorporadas a diferentes áreas, assim como disposto no Gráfico 3.

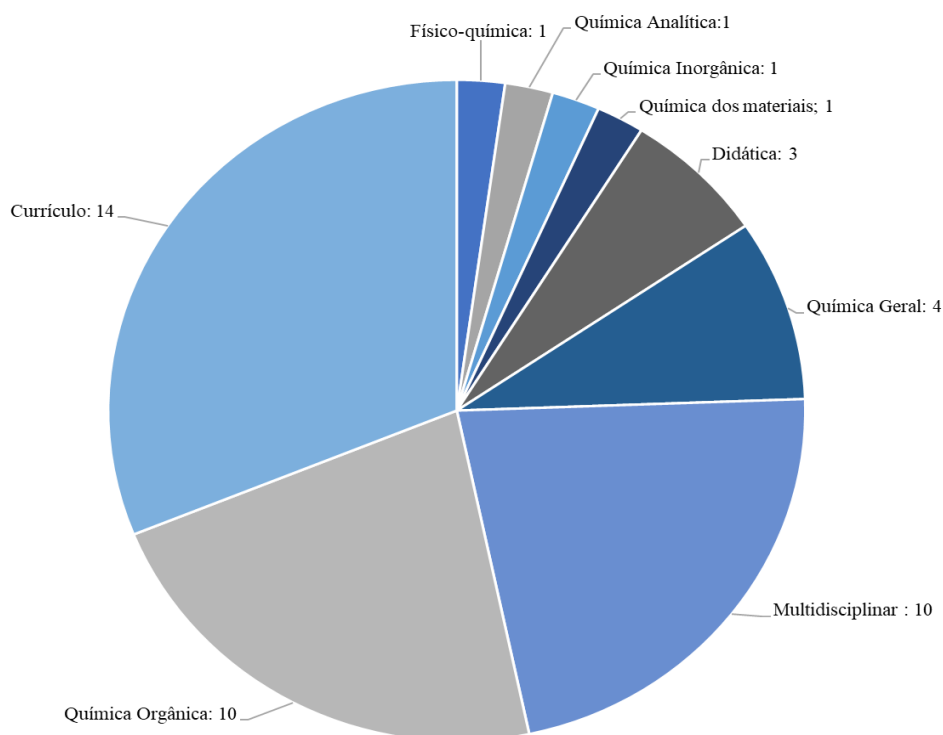


Gráfico 3 – Distribuição das publicações em EQVS por subárea.

Das publicações analisadas, a maioria apresentava discussões sobre aspectos para facilitar a incorporação dos princípios de sustentabilidade e Química Verde no currículo de química em vários níveis de ensino, especialmente, no Ensino Superior, com concentração de 62% dos trabalhos e os demais distribuídos entre o Ensino Fundamental (19%) e Ensino Médio (19%).

As discussões sobre currículo em Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS) são recentes, os primeiros trabalhos surgem em 2013 enfatizando a importância de uma mudança na prática da química na educação e como os currículos correspondentes precisam ser desenvolvidos. No entanto, tornou-se um campo emergente e de intensa pesquisa, por fornecer os aspectos necessários para uma nova maneira de aplicar e ensinar química, seja como disciplina na Educação Básica e nas universidades ou para preparar a próxima geração de estudantes de química.

As subáreas da química, como a Química Orgânica, também aparecem com um número considerável de trabalhos. Essa, considerando os reagentes e as sínteses em ensaios nos laboratórios, tem maior atenção, desde a criação dos princípios da Química Verde, quando se pensa em “Solventes e Auxiliares mais Seguros” (princípio 5), no sentido de substituir solventes orgânicos convencionais, que são frequentemente tóxicos, por solventes verdes, por exemplo. Esses aspectos refletem a maior concentração das publicações dessa área no Ensino Superior (90%) e demais no Ensino Médio.

As primeiras publicações da EQVS envolveram aplicações laboratoriais para o ensino, mas também ocorreram na subárea da Química Orgânica, em 2002. A expansão das discussões, acerca da EQVS, em outras áreas específicas da química, como Química Geral e Química Analítica, só foram identificadas a partir de 2012.

As publicações, referentes a subárea multidisciplinar, refletem a visão holística e integrada da EQVS no alcance da EDS, que se tornou um paradigma na política educacional internacional nas últimas décadas. Nessas publicações, são apresentadas perspectivas teóricas para o desenvolvimento profissional e de práticas de professores para promover a EDS no Ensino de Química, tanto para as etapas da Educação Básica (Ensino Fundamental 25%; Ensino Médio 26%), quanto para o Ensino Superior (49%).

Os resultados decorrentes da segunda etapa do estudo permitiram analisar as publicações em Química Verde e Sustentável na Educação Química, a partir das categorias: **Sinônimo** - a Química Verde e Química Sustentável como sinônimos; **Recurso** - a Química Verde como recurso para alcançar a Química Sustentável; e **Integração** - a Química Verde e Química Sustentável como conceitos integrados. Das subcategorias: Perspectivas Teóricas (**PT**), Práticas Experimentais (**PE**) e Desenhos Didáticos (**DD**) e das subáreas da EQVS identificadas anteriormente, como descrita no Gráfico 4.

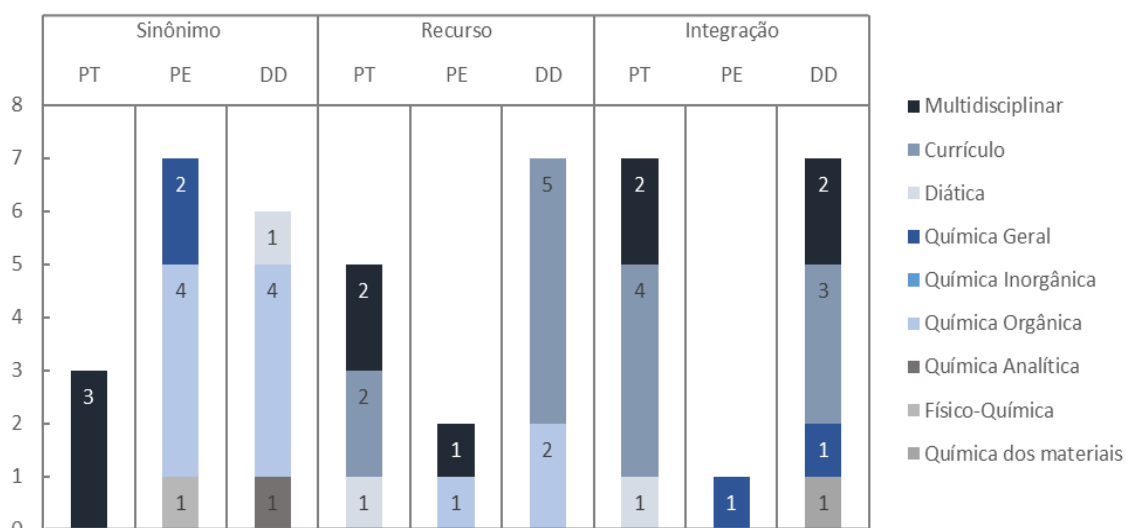


Gráfico 4 – Distribuição das publicações em EQVS e dos tipos de pesquisa a partir das categorias: Sinônimo, Recurso e Integração. Fonte: Elaborado pelas Autoras.

A categoria **sinônimo** foi identificada em 36% das publicações compreendendo, principalmente, as áreas específicas da química, correspondendo, especialmente, a práticas experimentais e desenhos didáticos. Essa categoria está centralizada na compreensão da Química Verde como sinônimo da Química Sustentável, uma vez que, a Química Verde é conhecida, desde o início, como "a química da sustentabilidade" (Beach, Cui e Anastas, 2009). No entanto, a Química Verde por si só, não importa quão fundamental, ampla em alcance e impacto, não será suficiente para alcançar uma civilização sustentável. (Anastas e Zimmerman, 2018).

No trabalho apresentado por McAllister e Parsons (2019), fica evidente esse cenário. Os autores, ao buscarem desenvolver as importantes habilidades de pesquisa envolvidas na química de processos sustentáveis, retêm seus objetivos de ensino aos aspectos da Química Verde, portanto, práticas sustentáveis em laboratório de química orgânica são sinônimos de "saber como modificar uma reação afeta suas métricas de Química Verde" (McAllister e Parsons, 2019, p. 2618). É importante reconhecermos que a Química Verde é peça fundamental, contudo, há muito mais que apenas pensar em produtos e processos menos nocivos, mais seguros e eficientes, é necessário maneiras inovadoras de reduzir o desperdício, economizar energia e beneficiar a economia, as pessoas e o planeta.

Publicações nacionais (Maria *et al.*, 2009; Reiznautt *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2017; Cunha e Matos, 2017) evidenciam essa compreensão de forma ainda mais superficial. Além de compreender os termos como sinônimos, eles são reduzidos apenas à promoção de alternativas menos perigosas de fazer os mesmos processos através do uso de materiais/substâncias naturais em substituição a reagentes convencionais, nos laboratórios de ensino. No entanto, a redução ou eliminação de substâncias perigosas, em processos químicos, deve ser pensada de forma mais ampla para o enfrentar as complexas relações de ambiente, sociedade e educação.

Portanto, trabalhos que têm a Química Sustentável como sinônimo da Química Verde nos causam preocupação sobre como a Química Verde e Sustentável estão sendo discutidas e abordadas na Educação Química, nos diferentes níveis, principalmente, nos laboratórios de ensino.

A categoria **recurso** é identificada em um menor número de publicações (24%), centralizada, principalmente, na área de currículo. Nessa categoria, a Química Verde e seus princípios é compreendida como uma ferramenta para que se possa alcançar uma Química direcionada para o bem-estar e a qualidade de vida. Nessa categoria, a Química Sustentável, muitas vezes, é confundida como sinônimo de Desenvolvimento Sustentável, no entanto, ela é um alicerce para o alcance do Desenvolvimento Sustentável.

No trabalho apresentado por Eissen (2012), podemos verificar essa categoria quando o autor utiliza a definição de Desenvolvimento Sustentável de acordo com o Relatório Brundtland (Organização das Nações Unidas, 1987) e as dimensões da sustentabilidade, para fundamentar a ideia do conceito de Química Sustentável quando afirma que "tendo em mente as três dimensões da sustentabilidade – economia, meio ambiente e assuntos sociais –, a ideia do conceito de Química Sustentável toma forma no trabalho diário de laboratório" (Eissen, 2012, p. 103). Dessa forma, é

importante ter clareza sobre cada termo para se poder organizar um caminho claro sobre como tratá-los em suas dimensões.

Outro aspecto dessa categoria também é observado no trabalho de Eissen (2012), quando ele estabelece a inserção da Química Sustentável na Educação pela aplicação de métricas, pois, segundo ele, “métricas apropriadas poderiam apoiar um desenvolvimento de produto socialmente aceitável, ecológico e econômico” [...] “balanços de massa, custos de matérias-primas e propriedades qualitativas (toxicologia, inflamabilidade, etc.) foram considerados no contexto do conceito Química Sustentável” (Eissen, 2012, p. 109). Diante dessas perspectivas, o autor projeta novos currículos voltados à sustentabilidade, a partir de uma cultura da Química Verde.

Outro exemplo dessa categoria é o trabalho de Marteel-Parrish (2014), no qual ela propõe um desenho didático de um curso desenvolvido para alunos e estudantes de química e biologia. O curso foi organizado em sete seções e, segundo a autora, “foi elaborado com base nos 12 princípios de Química Verde e suas aplicações”. No entanto, para modelos didáticos que tem a Química Verde como caminho para abordagens sustentáveis, a finalidade desses princípios deve ir além das preocupações com os riscos de toxicidade química, e, além disso, ela deve incluir conservação de energia, redução de resíduos, uso de matérias-primas mais sustentáveis ou renováveis e o design, ciclo e disposição final do produto.

Essa categoria caracteriza os primeiros passos para se pensar e propor modelos para abordar a EQVS em vista da Educação para o Desenvolvimento Sustentável. Contudo, ainda é necessário modelos mais holísticos.

A categoria **integração** envolve modelos de aprendizagem que integram a Química Verde e a Química Sustentável, em vista da Educação para o Desenvolvimento Sustentável. Essa categoria totaliza 40% das publicações, compreendendo, principalmente, as áreas de currículo e multidisciplinar, correspondendo, especialmente, a desenhos didáticos e perspectivas teóricas.

Dentre os desenhos didáticos analisados, destacamos aqueles com uma abordagem interdisciplinar (Kolopajlo, 2017; Flynn *et al.*, 2019; Bouldin; Folchman-Wagner, 2019); aprendizagem prática baseada em investigação e descoberta (Divya e Raj, 2019); utilizam metodologias de ensino, como estudos de caso, (Haack *et al.*, 2013; Zuin *et al.*, 2019); e Aprendizagem Baseada em Problema (ABP) (Cummings, 2013).

Nessas propostas, a organização do ensino e aprendizagem são adequados para a implementação de questões sociocientíficas (QSC) relacionadas à EDS no Ensino de Química. Logo, promovem a formação de químicos engenheiros e demais ofícios relacionados às ciências fundamentais por trás de produtos mais seguros. Além de promover a formação de cidadãos que estejam mais bem posicionados para interpretar e enfrentar desafios globais complexos.

Dentre as perspectivas teóricas para essa categoria, a maioria é orientada para o ensino superior (71%) e as demais, para o ensino médio e fundamental (29%). Essas perspectivas são propostas curriculares



internacionais sobre Educação em Química Verde e Sustentável, que promovem a inclusão de paradigmas mais globais, envolvendo aspectos econômicos, ambientais, políticos e sociais como questões fundamentais nas discussões técnicas e científicas, bem como o desenvolvimento de experiências de laboratório que introduzem tópicos de sustentabilidade.

Portanto, as implicações da química, na educação, estão na abordagem dos desafios e oportunidades globais da sociedade moderna, para garantir que possamos alcançar um futuro verde e sustentável.

### **Conclusões**

O intuito desta pesquisa foi analisar a maneira em que a Química Verde e a Química Sustentável vem sendo descrita na literatura nacional e internacional no período de 1998 a 2019, de modo a compreender como os pesquisadores da área tem avançado na práxis da Química Verde e Sustentável na Educação Química. Com a leitura e análise das 45 publicações selecionadas para o *corpus* bibliográfico, foram evidenciados aspectos essenciais para o alcance dos objetivos da pesquisa.

Diante das análises realizadas consideramos que a Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS) representa um verdadeiro desafio global e requer a participação de diferentes atores. A inserção da QVS nas diferentes áreas e níveis de ensino tem caminhado para uma compreensão conceitual sobre a Química Verde e a Química Sustentável e como ambas se integram para atender aspectos econômicos, ambientais, políticos e sociais como questões fundamentais.

Para facilitar a incorporação dos princípios de sustentabilidade e da Química Verde no currículo de química, nos diferentes níveis de ensino, é necessária uma compreensão conceitual que permita às pessoas terem clareza sobre os fundamentos e princípios de cada conceito e como eles se integram, para que possa ocorrer uma mudança do status da química tradicional, em vista de uma sociedade e uma civilização sustentável.

Desenvolver a Educação Química alinhada à Química Verde e Sustentável colabora para interconexões mais amplas da química com outros campos de estudo e com questões sociais, estabelecendo uma educação que estimule os estudantes a superarem os obstáculos de conteúdos disciplinares, para obter uma visão mais holística da química e sua conexão integral com o ambiente e os sistemas sociais.

Por fim, são consideradas as possibilidades para continuidade e ampliação deste estudo, sendo uma delas a análise das publicações nacionais e internacionais no Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável (*International Year of Basic Sciences for Sustainable Development - IYBSSD*) que ocorreu entre de janeiro de 2022 a junho de 2023, a fim de agregar novos dados e informações que podem auxiliar a ampliar as conclusões apresentadas neste trabalho. Assim, como viabilizar aos pesquisadores e profissionais da área a discorrer e propor novas projeções para incorporação da Química Verde e Sustentável (QVS) na Educação Química.

## Referências

- American Chemical Society. (2010). *Green Chemistry History*. Recuperado de: <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/history-of-green-chemistry.html>
- American Chemical Society. (2019a). *What Is Green Chemistry?* Recuperado de: <https://www.acs.org/content/acs/en/sustainability/chemistry-sustainable-development-goals.html>
- American Chemical Society. (2019b). *Chemistry & Sustainable Development Goals*. Recuperado de: <https://www.acs.org/content/acs/en/sustainability/chemistry-sustainable-development-goals.html>
- Anastas, P. T., e Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: theory and practice*. New York: Oxford University Press.
- Anastas, P.T., e Zimmerman, J. B. (2018). The United Nations sustainability goals: How can sustainable chemistry contribute? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 150-153. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.017>
- Andrade, R. S. (2022). A prática experimental investigativa crítica verde na licenciatura em química de uma Universidade Federal do Estado de São Paulo: um estudo de caso. *Tese (Doutorado em Educação)*. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.
- Andrade, R. S., e Zeidler, V. G. Z. (2023). Proposições acerca da experimentação formativa para Educação Química. *Ciência & Educação*, 29, e23012. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/1516-731320230012>
- Andrade, R. S., e Zuin, V. G. (2023). A Alfabetização científica em química verde e sustentável. *Educação Química em Ponto de Vista*, 7, 1-15. Recuperado de: <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/3265/3477>
- Andrade, R. S., e Zuin, V. G. (2023a). Formative Dimensions for Green and Sustainable Chemical Education: A Qualitative Evaluation Tool of the Formative Level of Experimental Processes. *Journal of Chemical Education*, 100 (6), 2281–2291. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.3c00053>
- Beach, E.S., Cui, Z., e Anastas, P.T. (2009). Green Chemistry: a design framework for sustainability. *Energy Environ Sci*, 2, 1038-1049. Recuperado de: <https://doi.org/10.1039/B904997P>
- Blum, C., Bunke, D., Hungsberg, M., Roelofs, E.; Joas, A.; Joas, R., Blepp, M., e Stolzenberg, H. (2017). The concept of sustainable chemistry: Key drivers for the transition towards sustainable development. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 5, 94-104. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2017.01.001>
- Bouldin, R. M., e Folchman-Wagner, Z. (2019). Chemistry of Sustainable Products: Filling the Business Void in Green-Chemistry Curricula. *Journal of Chemical Education*, 96 (4), 647-651. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.8b00619>

Collins, T. (2001). Toward Sustainable Chemistry. *American Association for the Advancement of Science*, 291 (5501), 48-49. Recuperado de: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.291.5501.48>

Corrêa, A. G., e Zuin, V. G. (2009). *Química Verde: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EDUFSCar.

Creswell, J. W. (2014). *Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens*. Porto Alegre: Penso.

Cummings, S. D. (2013). ConfChem Conference on Educating the Next Generation: Green and Sustainable Chemistry—Solar Energy: A Chemistry Course on Sustainability for General Science Education and Quantitative Reasoning. *Journal of Chemical Education*, 90 (4), 523-524. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed200589u>

Cunha, S., e Matos, J. (2017). Além da caipirinha: Cachaça como solvente para síntese orgânica e extração de pigmento. *Química Nova*, 40 (10), 1253-1258. Recuperado de: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170110>

Divya, D., e Raj, K. (2019). From Scrap to Functional Materials: Exploring Green and Sustainable Chemistry Approach in the Undergraduate Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 96 (3), 535-539. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.8b00484>

Eilks, I., e Zuin, V. (2018). Editorial Overview: Green and Sustainable Chemistry Education (GSCE): Lessons to be learnt for a safer, healthier and fairer world today and tomorrow. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, a4-a6.

Eissen, M. (2012). Sustainable production of chemicals-an educational perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 13 (2), 103-111. Recuperado de: <https://doi.org/10.1039/C2RP90002E>

Environmental Protection Agency. (2008). *Mercury and Chemical Management in Schools: Teachers and School Administrators Participant's Manual*. Washington: EPA 747-R-08-001.

Farias, L. A., e Favaro, D. I. T. (2011). Vinte anos de Química Verde: conquistas e desafios. *Química Nova*, 4 (6), 1089-1093. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000600030>

Flynn, A. B., Orgill, M.; Ho F. M., York, S., Matlin, S. A., Constable, D. J. C., e Mahaffy, P. G. (2019). Future Directions for Systems Thinking in Chemistry Education: Putting the Pieces Together. *Journal of Chemical Education*, 96 (12), 3000-3005. Recuperado de: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00637>

Gil, A. C. (2017). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 6. Ed. São Paulo: Atlas.

Haack, J. A., Andrew Berglund, J. E., Hutchison, J., Johnson, D. W., Lonergan, M C., e Tyler, D. R. (2019). ConfChem Conference on Educating the Next Generation: Green and Sustainable Chemistry—Chemistry of Sustainability: A General Education Science Course Enhancing Students, Faculty and Institutional Programming. *Journal of Chemical Education*,

90(4), 515-516. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed200759r>

Kolopajlo, L. (2017). Green chemistry pedagogy. *Physical Sciences Reviews*, 2(2), 1-17. Recuperado de: <https://www.degruyter.com/view/journals/psr/2/2/article-20160076.xml?language=en>.

Kümmerer, K. (2017). Sustainable Chemistry: A Future Guiding Principle. *Angewandte Chemie International Edition*, 56(52), 16420-16421. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/anie.201709949>

Lenardão, E. J., Freitas, R. A., Dabdoub, M. J., Batista, A. C. F., e Silveira, C. C. (2003). Green Chemistry – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, 26 (1), 123-129. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100020>

Lima, T. C. S., e Mioto, R. C. T. (2007). Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. *Revista Katálysis*, 10(esp), 37-45. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S1414-49802007000300004>

Linthorst, J.A. (2010). An overview: origins and development of green chemistry. *Found Chemistry*, 12, 55-68. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-009-9079-4#citeas>

Marco, B., Rechelo, B., Tótolli, E., Kogawa, A., e Salgado, H. (2019). Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. *Saudi Pharmaceutical Journal*, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2019. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S131901641830152X>

Maria, T., Nunes, R., Pereira, M., e Eusébio, M. (2009). Argilas como catalisadores verdes na esterificação do colesterol: caracterização espectroscópica e identificação de polimorfos por métodos de análise térmica. Uma proposta laboratorial interdisciplinar para o 1º ciclo universitário. *Química Nova*, 32(8), 2225-2229. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000800040>

Marteel-Parrish, A. (2014). Teaching green and sustainable chemistry: A revised one-semester course based on inspirations and challenges. *Journal of Chemical Education*, 91(7), 1084-1086. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed400393b>

Martins, R., Bernardi, F., Dangui Kreve, Y., Nicolini, K., e Nicolini, J. (2017). Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base no Ensino Médio (Parte I). *Educacion Química*, 28(4), 246-253. Recuperado de: <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63702>

Mcallister, G., e Parsons, A. (2019). Going Green in Process Chemistry: Optimizing an Asymmetric Oxidation Reaction to Synthesize the Antiulcer Drug Esomeprazole. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2617-2621. Recuperado de: [10.1021/acs.jchemed.9b00350](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00350)

Organização das Nações Unidas. (1987). *Nosso futuro comum*. COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Recuperado de: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>

Organização das Nações Unidas. (2015a). *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Recuperado de: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>

Organização das Nações Unidas. (2015b). *UN adopts new Global Goals, charting sustainable development for people and planet by 2030*. Recuperado de: [https://news.un.org/en/story/2015/09/509732-un-adopts-new-global-goals-charting-sustainable-development-people-and-planet#.Vm\\_z6o-CHQs](https://news.un.org/en/story/2015/09/509732-un-adopts-new-global-goals-charting-sustainable-development-people-and-planet#.Vm_z6o-CHQs)

Organization for Economic Co-operation and Development. (2012). *The Role of Government Policy in Supporting the Adoption of Green/Sustainable Chemistry Innovations*. Paris: Autor. Recuperado de: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=en/v/jm/mono\(2012\)3&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=en/v/jm/mono(2012)3&doclanguage=en)

Organization for Economic Co-operation and Development. (2019). *Sustainable chemistry*. Paris: Autor. Recuperado de: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/sustainablechemistry.htm>.

Prado, A. G. S. (2003). Química Verde: os desafios da Química no Novo Milênio, *Química Nova*, 26(5), 738-744. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000500018>

Rauch, F. (2015). Education for Sustainable Development and Chemistry Education, in: Zuin, V. G., e Mammino, L. *Worldwide Trends in Green Chemistry Education*. The Royal Society of Chemistry, 17-19.

Reiznautt, Q. B., Girelli, B., Santa Catharina, V. M., Samios, D., e Garcia, I. T. S. (2013). Físico-química experimental: uma proposta para abordar equilíbrio de fases em sistemas ternários. *Química Nova*, São Paulo, 36 (9), 1447-1452. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000900028>

Sjöström, J., Eilks, I., e Zuin, V. G. (2016). Towards Eco-Reflexive Science Education: A Critical Reflection about Educational Implications of Green Chemistry. *Science & Education*, 25 (3), 321-341. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9818-6>

Suschem. (2019). *Sustainable future*. Recuperado de: <http://www.suschem.org/about/sustainable-future>

Umweltbundesamt. (2004). *Sustainable Chemistry*. Recuperado de: <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/chemicals/chemicals-management/sustainable-chemistry-0#what-is-sustainable-chemistry>

United Nations Environment Programme. (2019). *Global Chemicals Outlook II - From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations Environment Programme. Recuperado de: <https://www.unenvironment.org/resources/report/global-chemicals-outlook-ii-legacies-innovative-solutions>

Universidade de York. (2013) *Sustainability at York*. Recuperado de: <https://www.york.ac.uk/about/sustainability/>

Universität Bremen. (2019). *Sustainability Research Center*. Recuperado de: <https://www.uni-bremen.de/en/artec/about-us>.

Woodhouse, E. J., e Breyman, S. (2005). Green chemistry as social movement? *Science Technology and Human Values*, 30(2), 199–222. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/1558035>

Zuin, V. G., e Pacca, J. L. A. (2009). A ambientalização curricular e a formação inicial de professores de química: um estudo de caso brasileiro. *Enseñanza de las Ciencias*, extra, 2330-2330. Recuperado de: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/294304/382858>

Zuin, V. G., Segatto, M. L., Zandonai, D. P., Grosseli, G. M., Stahl, A. Zanotti, K., e Andrade, R. S. (2019). Integrating Green and Sustainable Chemistry into Undergraduate Teaching Laboratories: Closing and Assessing the Loop on the Basis of a Citrus Biorefinery Approach for the Bio-circular Economy in Brazil. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2975-2983. Recuperado de: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00286>