



O ensino de Química Verde: uma revisão sistemática da produção científica nacional e internacional

Green Chemistry education: a systematic review of national and international scientific production

Nayana Bruna Nery Monção¹

<https://orcid.org/0000-0002-2095-1423> 

Haroldo Araripe Carvalho de Alencar¹

<https://orcid.org/0009-0001-3255-1451> 

Luciana Nobre de Abreu Ferreira¹

<https://orcid.org/0000-0003-3505-9523> 

1. Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brasil. E-mail: brunanery@ufpi.edu.br; haroldoararipe@gmail.com; lunobreabreu@gmail.com

Resumo: A Química Verde (QV), quando incorporada à formação, propicia criar e valorizar sistemas eficazes, seguros e sustentáveis. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi identificar os avanços, tendências e lacunas no ensino de QV por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura. As buscas foram realizadas em quatro bases de dados e, após a aplicação de critérios de inclusão e exclusão, as publicações resultantes foram analisadas. Os dados apontaram uma forte relação do ensino de QV a práticas experimentais, embora também tenham sido explorados aspectos reflexivos e discursivos. Observou-se, ainda, limitações de propostas na educação básica e, apesar do caráter transdisciplinar da QV, seu ensino tem sido frequentemente direcionado a estudantes de Química. Por conseguinte, esta revisão caracteriza-se como uma via de acesso ao tema, ressaltando-se, contudo, que os achados não constituem uma descrição definitiva, uma vez que estudos relevantes podem não ter sido contemplados.

Palavras-chave: Química Verde, ensino, sustentabilidade.

Abstract: Green Chemistry (GC), when incorporated into education, enables the creation and valorization of effective, safe, and sustainable systems. Thus, the objective of the present study was to identify advances, trends, and gaps in the teaching of GC through a Systematic Literature Review. Searches were conducted in four databases and, after applying inclusion and exclusion criteria, the resulting publications were analyzed. The data indicated a strong association between GC teaching and experimental practices, although reflective and discursive aspects were also explored. Additionally, limitations were observed in proposals for basic education, and despite the transdisciplinary nature of GC, its teaching has often been directed primarily toward Chemistry students. Consequently, this review serves as a pathway to access the topic, while emphasizing that the findings do not constitute a definitive description, given that relevant studies may not have been included.

Keywords: Green Chemistry, education, sustainability.

Introdução

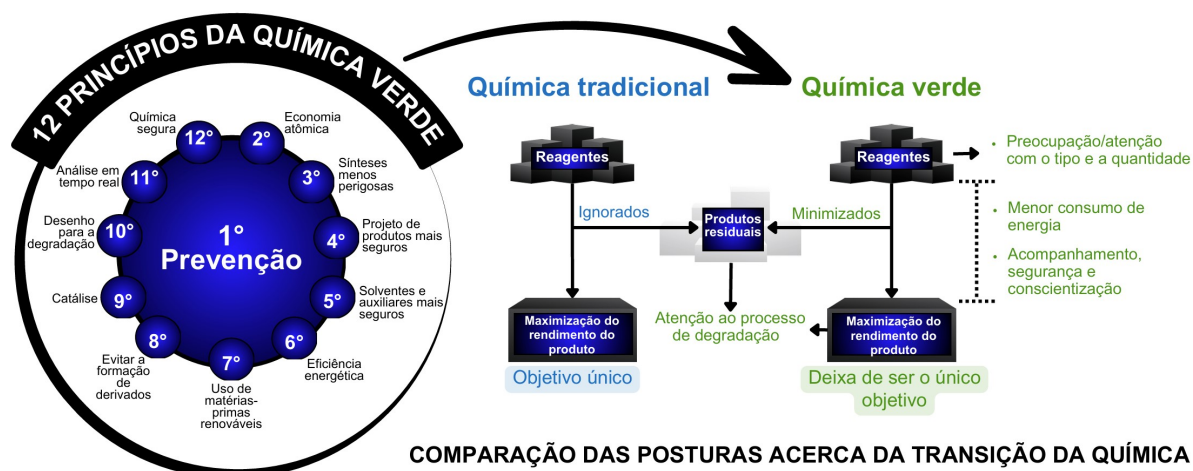
A Química Verde (QV) foi difundida a partir de um programa especial (Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição), lançado em 1991. A iniciativa promoveu a realização de vias sintéticas alternativas, estando diretamente alinhada ao objetivo da Lei de Prevenção da Poluição¹, aprovada nos Estados Unidos, no ano anterior. A lei pretendia não mais estimular práticas remediativas para tratar poluentes, mas evitar a sua geração (Armstrong et al., 2024; Farias & Fávoro, 2011).

Em 1993 o programa expandiu para abarcar outras possibilidades como o uso de solventes ecológicos, sendo então celebrada a QV, que objetiva fornecer à área (e à ciência em geral) formas de reduzir ou eliminar o uso ou a geração de substâncias perigosas, poluentes e/ou prejudiciais à saúde ou ao meio ambiente, minimizando a iminência de riscos físicos, toxicológicos e ambientais (Anastas & Eghbali, 2010; Armstrong et al., 2024).

Para melhor atingir isso, em 1998, Anastas e Warner agruparam 12 princípios fundamentais (Figura 1). Dentre eles, destaca-se o primeiro (da prevenção) e basilar dos demais. Machado (2011) ressalta a mudança de conduta no fazer químico, contrastando a química tradicional e a QV.

Figura 1

12 princípios da QV agrupados por Anastas e Warner (1998) (à esquerda) e comparação entre os preceitos da química tradicional e da QV na cadeia sintética (à direita)



Fonte: Adaptada de Machado (2011).

¹ Lei de Prevenção da Poluição: <https://www.epa.gov/p2/pollution-prevention-law-and-policies>.

A Química tradicional considera unicamente o produto e seu rendimento. A QV, de abordagem holística e objetivos múltiplos, propõe, por meio de movimentos seguros e conscientes, conservar o meio ambiente, proteger a comunidade e preservar os recursos naturais e energéticos (Machado, 2011). No entanto, embora os princípios estejam postos há algum tempo, a consolidação da QV ainda se mostra desafiadora, pois na prática, é desejável que eles sejam incorporados ao máximo nos processos químicos (Almeida et al., 2019; Luz et al., 2019).

Outro desafio, estreitamente alinhado ao Desenvolvimento Sustentável (DS), é valorizar o potencial que a Química detém para melhorar o mundo. Anastas e Zimmerman (2019) reforçam que é imprescindível partir da QV para então serem aplicadas as ferramentas, estruturas e perspectivas da Química Sustentável (QS). Essa união endossa a filosofia da Química Verde e Sustentável (QVS), que visa solucionar, de maneira abrangente e com igual importância, questões econômicas, políticas, históricas, sociais e éticas.

Gomes e Zeidler (2023) valorizam a formação como fundamental para esse encaminhamento e conforme destacam Zuin et al. (2021), integrar esses conceitos aos currículos é determinante para assegurar que os futuros profissionais desenvolvam sistemas eficientes, seguros, equitativos e sustentáveis, consolidando sua atuação no mercado e respondendo às suas responsabilidades sociais (Armstrong et al., 2024; Savec & Mlinarec, 2021).

Considerando a demanda existente e a necessidade de conhecer os passos já traçados, o objetivo do presente manuscrito é reunir e identificar o que já foi efetivado na literatura sobre a QV com relação ao contexto de ensino, em todos os níveis. Através desta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) buscamos responder às seguintes questões:

1. Quais as principais características das pesquisas sobre a QV no ensino?
2. Onde essas pesquisas foram realizadas no mundo e no Brasil?
3. Quem são os líderes de grupos de pesquisa que se destacam na investigação entre a QV e o ensino?
4. Quais os principais focos temáticos que emergem das pesquisas sobre QV no ensino? Nos casos das intervenções em contextos de ensino, quais áreas e níveis são contemplados?

Com esta revisão, por meio das proposições estabelecidas, pretendemos, além de compreender a evolução da QV na sua relação com o ensino, fornecer

aportes para novas pesquisas e orientar o planejamento de estratégias didáticas eficazes, contribuindo para o fortalecimento do tema, alinhada às demandas atuais da sustentabilidade.

Metodologia

Este encaminhamento, de caráter qualitativo e bibliográfico, tomou como base a declaração do PRISMA² (do inglês *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) de 2020 (Page et al., 2021). As buscas foram realizadas em quatro bases de dados: ERIC (E), SciELO (SL), Web of Science (WS) e Scopus (SP). As escolhas dessas bases dão-se pelas relevâncias em responder às questões postas. A ERIC concatena produções de caráter educacional; a SciELO agrega dados nacionais; e a WS e SP compilam informações internacionais. A seleção dos materiais foi guiada pelos critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE), conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1

Crítérios de inclusão (CI) e exclusão (CE) atribuídos na RSL sobre a QV e o ensino

Crítérios de inclusão (CI)	Crítérios de exclusão (CE)
CI1: Artigo de periódico, incluindo revisões, descrições e pesquisas empíricas ou documentais.	CE1: Anais de congressos, trabalhos de conferências, livros ou capítulos de livros.
CI2: Recorte temporal de 1991 a 2022.	CE2: Ano de publicação fora do intervalo definido.
CI3: Revisado por pares.	CE3: Ausência de revisão por pares.
CI4: Primeiro registro, sem duplicação.	CE4: Mais de um registro na mesma base de dados ou outra.
CI5: Fundamental, de forma evidente, a relação da QV ao contexto do ensino.	CE5: Não evidenciar a relação da QV ao contexto educacional ou mencionar de forma breve/incipiente.
CI6: Texto completo acessível para leitura na íntegra.	CE6: Texto completo indisponível.
CI7: Tradução da língua de origem feita com o apoio de ferramentas para esse fim.	CE7: Limitações na tradução devido à complexidade da língua de origem.

Após testes preliminares das estratégias de busca nas bases SP e WS, as fórmulas utilizadas combinaram o termo “*green chemistry*” a referências de palavras de cunho educacional, por uso do operador booleano AND e do sinal de truncamento (*), sendo elas: teach*, educa*, learn*, pedagog* e didactic*, separadas

² A declaração PRISMA 2020 apresenta orientações atualizadas para relatórios de revisões sistemáticas, permitindo identificar, selecionar, avaliar e sintetizar estudos. Ela contempla uma lista de verificação expandida e detalhada sobre 27 itens (Page et al., 2021).

pelo operador booleano OR. As buscas foram direcionadas exclusivamente aos títulos e resumos através de acesso concedido pela rede CAFE (Comunidade Acadêmica Federada), vinculada ao Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Ambas as bases oferecem ferramentas de edição para pesquisa avançada (SP: *Advanced document Search* e WS: *Advanced search*), permitindo construir e utilizar as fórmulas dispostas na Tabela 2.

Tabela 2

Fórmulas utilizadas nos campos de pesquisa avançada das bases de dados SP e WS

Base de dados	Fórmula utilizada
SP	(TITLE ("green chemistry") OR ABS ("green chemistry")) AND (TITLE (teach* OR educa* OR learn* OR pedagog* OR didactic*) OR ABS (teach* OR educa* OR learn* OR pedagog* OR didactic*))
WS	(TI="green chemistry" OR AB="green chemistry") AND (TI=(teach* OR educa* OR learn* OR pedagog* OR didactic*) OR AB=(teach* OR educa* OR learn* OR pedagog* OR didactic*))

- TITLE e TI: Abreviaturas da categoria título nas bases SP e WS, respectivamente;
- ABS e AB: Abreviaturas da categoria resumo nas bases SP e WS, respectivamente;
- Datas das buscas: SP, em 13/3/2024 e WS, em 28/3/2024.

As equações estruturadas geraram dados iniciais que, por uso de ferramentas de automação disponibilizadas nas plataformas, permitiram aplicar filtros para atender critérios de inclusão. Na SP, em *Document type*, os registros foram limitados (*limit to*) às categorias: *article* e *review* (CI1). O segundo filtro, relacionado ao CI2 (em *Year* com *range* habilitado), foi configurado para o intervalo de 1991 a 2022. Na WS, os dados iniciais foram filtrados para o tipo de documento (em *Document type*), com o refinamento para *article* e *review article*, e exclusão dos anos 2023 e 2024. Apesar dos filtros aplicados, dados adicionais da SP e WS foram excluídos manualmente. A SP, por expressar um número maior de trabalhos, foi estabelecida como referência para a exclusão de registros duplicados, conforme CE4.

Na base de dados E (<https://eric.ed.gov/>, busca em: 5/4/2024), o termo "*green chemistry*" foi utilizado como palavra de busca. Considerando a premissa da relação com o ensino, estimamos essa combinação como suficiente para revelar dados. A pesquisa foi realizada tanto no título como no resumo usando o operador booleano OR, por meio da expressão: title: "green chemistry" OR abstract: "green chemistry". A partir dos achados, a função "*peer reviewed only*" foi habilitada para atender ao CI3. À época, a plataforma indicou seis textos referentes a 2023 (em *since 2023*), os

quais, por conta do CE2, foram removidos de forma manual. Em sequência, outros materiais também foram eliminados da investigação devido ao CE1 e CE4.

Na base de dados SL (<https://www.scielo.org/pt>, busca em: 12/4/2024), associamos ao termo “*green chemistry*”, a expressão “química verde” (para localizar produções em espanhol e português). Os termos foram inseridos nos campos específicos da pesquisa avançada, limitando-se ao título e ao resumo usando o operador booleano OR. A partir dos dados gerados, materiais foram excluídos utilizando a ferramenta de automação para atender ao CI1 (em tipo de literatura: artigos e artigos de revisão). Quanto ao recorte temporal, todos os anos foram selecionados, com a exclusão de 2023 e 2024. Do montante reunido, textos identificados em outras bases foram removidos, segundo o CE4.

Diante das informações localizadas nas quatro bases de dados, os materiais foram avaliados na etapa de triagem. Esse passo foi balizado pela leitura do título e do resumo visando o cumprimento do CI5. Textos classificados com o CE5 foram eliminados e os demais direcionados à etapa de leitura completa das produções, considerando vias de acesso como: periódicos CAPES, sites das revistas, Google Acadêmico e *ResearchGate* (com pedidos de solicitações, em alguns casos). Textos não recuperados na íntegra foram eliminados pelo CE6 e adicionalmente, na etapa de elegibilidade, publicações foram excluídas pelos CE5 e CE7.

O percurso metodológico desta revisão foi guiado por dois revisores, independentemente. As análises individuais foram confrontadas, com concordância de 94,9%. Os conflitos não sanados foram analisados por um terceiro revisor.

Concernentemente ao tratamento dos dados, o procedimento adotado foi análise de conteúdo, segundo Bardin (2016), a partir da qual foram identificadas as informações gerais (autoria, ano, instituição de vínculo da primeira autoria, estado, no caso de instituição brasileira, e país), tipo de pesquisa, foco temático, objetivo do estudo e desfecho. Considerando o enfoque da pesquisa, informações complementares eram acessadas (população envolvida, fontes pesquisadas, nível educacional e curso de intervenção).

Isso possibilitou inferir sobre os principais periódicos, distribuição temporal, natureza da pesquisa, distribuição geográfica, principais pesquisadores/as e focos centrais dos estudos, além do nível educacional e áreas ou subáreas da Química, nos casos de intervenções didáticas, contribuindo para verificar padrões, tendências e lacunas.

Os critérios de seleção aplicados (indexação em bases reconhecidas, revisão por pares e acesso ao texto completo) podem contribuir na confiabilidade dos

achados, embora uma análise detalhada do risco de viés não tenha sido conduzida. Ademais, padrões observados na literatura podem sugerir possíveis vieses de publicação, geográfico e metodológico.

Resultados e Discussão

A partir do protocolo estabelecido nesta revisão, os dados localizados estão concentrados na Figura 2.

Figura 2

Fluxograma do PRISMA 2020 desta RSL relacionando a QV e o ensino



Fonte: Elaboração própria

O procedimento da RSL contemplou três momentos abrangendo cinco etapas. Na primeira (identificação) foram incluídos os registros das bases de dados SP, WS, E e SL totalizando 1660 publicações. A partir dos critérios de exclusão (tipo de publicação, CE1; recorte temporal, CE2; e ausência de revisão por pares, CE3) foram eliminados 594 materiais usando os recursos de automação das bases e 39,

manualmente. Em adição, 420 textos foram excluídos considerando as repetições (CE4), resultando em 607 publicações.

Desse saldo, após a leitura do título e do resumo, 179 materiais foram descartados pelo CE5. Na recuperação dos textos completos para acesso ao conteúdo na íntegra, 20 publicações foram excluídas pela impossibilidade de acesso (CE6) e na elegibilidade, dos 408 materiais resultantes, seis foram excluídos pelo CE5 e um pelo CE7, totalizando em 401 publicações.

As produções incluídas encontram-se identificadas por códigos ao longo do presente texto e a partir dessa informação é possível consultar as respectivas referências completas, disponibilizadas no **Material Suplementar**, em razão do limite de extensão deste trabalho.

Principais Características dos Estudos

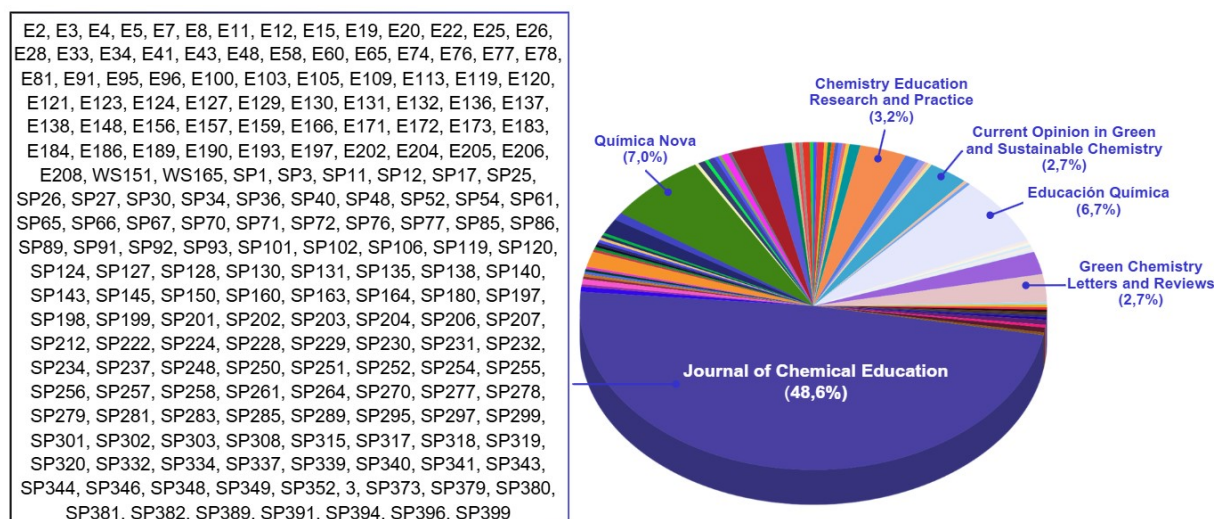
A partir dos parâmetros estabelecidos, entre as principais características das pesquisas sobre a QV no ensino, verificou-se os periódicos, a distribuição temporal e a natureza das publicações.

Periódicos das Publicações

Os 401 artigos localizados distribuem-se em 74 periódicos. Desses, quase metade ($n = 195$) faz parte do acervo do *Journal of Chemical Education* (**JCE**). Outras revistas notáveis, embora menos frequentes, incluem a: *Química Nova* (**QN**), *Educación Química* (**EQ**), *Chemistry Education Research and Practice* (**CERP**), *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* (**COGSC**) e *Green Chemistry Letters and Reviews* (**GCLR**), conforme Figura 3.

Figura 3

Periódicos em destaque quanto ao número de publicações que relacionam a QV e o ensino localizados nesta RSL, com indicações dos textos no de maior veiculação



Fonte: Elaboração própria

O **JCE** figura como um veículo importante sobre a temática, evidenciando, sobretudo, aplicações da QV em torno de propostas experimentais, especialmente porque a maioria dos estudos ($n = 109$) estão dispostos nas seções “*In the laboratory*” ou “*Laboratory Experiment*”. Ressalta-se, ainda, o impacto da revista em intensificar a conexão com a temática através da seção “*Green Chemistry*”, na qual estão concentrados 26 textos.

De forma similar, a **QN**, segundo periódico em destaque, demonstra um envolvimento significativo com abordagens relacionadas à experimentação. Uma ressalva é que, embora a **QN** não publique exclusivamente materiais voltados ao Ensino de Química, a revista, conforme seu escopo³, abrange tanto as áreas tradicionais da Química quanto temas como Ensino de Química, História da Química e Política Científica por meio da seção “Educação”.

Nas revistas **EQ** e **CERP**, periódicos voltados ao Ensino de Química, os materiais localizados denotam maior diversidade variando de discussões teóricas a intervenções didáticas. A indicação de uma seção para tratar sobre QV também foi evidente na **EQ**, entre 2010 e 2014. Em contraste, o perfil e o escopo das revistas **COGSC**⁴ e **GCLR**⁵ incentivam a produção de pesquisas cujo direcionamento para a QV é um aspecto importante, conforme disposição dos termos em seus títulos.

³ Escopo da Química Nova: <https://www.scielo.br/journal/qn/about/#about>.

⁴ Escopo da *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*: <https://www.sciencedirect.com/journal/current-opinion-in-green-and-sustainable-chemistry>.

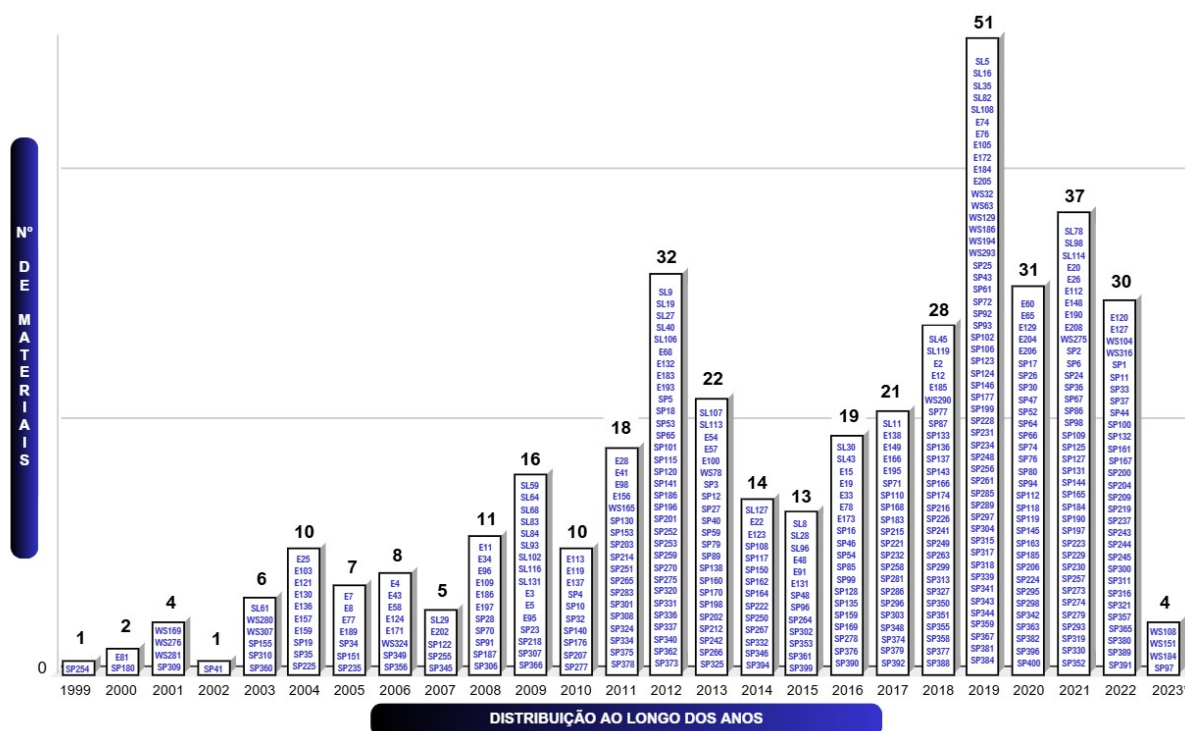
⁵ Escopo da *Green Chemistry Letters and Reviews*: <https://www.tandfonline.com/journals/tgcl20/about-this-journal#aims-and-scope>.

Distribuição Temporal das Publicações

Os dados revelam publicações de 1999 a 2023 (Figura 4). Embora o recorte temporal da pesquisa tenha sido até 2022, as quatro publicações de 2023 foram disponibilizadas de forma on-line em 2022, motivo pelo qual foram mantidas no acervo.

Figura 4

Distribuição temporal das publicações que relacionam a QV e o ensino localizadas nesta RSL



Fonte: Elaboração própria

A partir da Figura 4, duas tendências são constatadas: 1ª) de 1999 a 2010 e 2ª) de 2011 a 2022. No primeiro recorte, a busca revela o SP254 como a primeira publicação. O estudo aponta as vantagens e os impactos advindos da sinergia entre programas pedagógicos que integram a Química em Microescala e QV. Os autores ressaltam que as abordagens são complementares e que, quando alinhadas no laboratório acadêmico, são mais efetivas na redução de resíduos, substituição de materiais e minimização de riscos.

O estudo foi publicado no **JCE**, o que reforça o compromisso do periódico em disseminar informações sobre a QV desde a década de 90, período de emersão do

termo e consolidação, referendada pela publicação de Anastas e Warner (1998), que agruparam os 12 princípios que norteiam o “novo” modo de fazer química.

Ainda quanto ao primeiro período, a faixa de publicações variou de uma a onze por ano, com exceção de 2009, com 16 textos. Isso pode, em parte, estar relacionado ao fato de a **EQ** ter celebrado o vigésimo aniversário com uma edição temática dedicada à “Química Verde”. A iniciativa visou reconhecer o papel dos educadores como agentes de transformação na sensibilização sobre a importância do cuidado com a comunidade e seu contexto. Dessa edição, resultaram os estudos: SL59, SL64, SL68, SL84, SL93, SL102 e SL116.

Por conseguinte, há uma maior incidência de textos após 2010, notadamente a partir de 2016. Esse fato pode refletir os esforços crescentes para atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, lançada em 2015 pela Organização das Nações Unidas (ONU)⁶, que estabelece metas para transformar a sociedade em um ambiente mais justo, equitativo e igualitário (Miller et al., 2019; Zuin et al., 2019).

Das evidências, a **CERP**, em 2012, lançou a edição especial “*Sustainable Development and Green Chemistry in Chemistry Education*” com o intuito de motivar e fomentar uma educação voltada para a sustentabilidade (Eilks & Rauch, 2012). Neste enquadramento, estão incluídas as publicações E68, SP115, SP186 e SP331.

A **EQ** lançou ainda a seção “*Las áreas emergentes de la educación química*” para abordar tópicos importantes. Relacionados à QV e à Química e Sustentabilidade, em 2013, sobressaem os estudos SP79, SP170, SP266 e SP325, publicados a partir das edições “*Química verde: Un tema de presente y de futuro para la educación de la química*” e “*Sustentabilidad y educación química. Nuestra ciencia no sólo contamina, sino que también previene y remedia*” (Garritz & Talanquer, 2012).

O ano de 2019 destaca-se com 51 trabalhos publicados. Destes, 32 são do acervo do **JCE** que, no ano em questão, lançou a chamada “*Reimagining Chemistry Education: Systems Thinking, and Green and Sustainable Chemistry*”. O objetivo foi incentivar estudos que integrassem o ensino de QV ao pensamento sistêmico e aos ODS. Os artigos E105, E184, SP25, SP124, SP199, SP228, SP231, SP261, SP285, SP289, SP339, SP341, SP343, SP344 e SP381 contemplam esse repertório. Em 2021, a revista lançou, ainda, a edição “*Chemical Safety Education: Methods, Culture, and Green Chemistry*”, cujo intuito foi estimular o desenvolvimento de métodos adequados para ensinar segurança química por meio de métodos, cultura e

⁶ ODS da Agenda 2030: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

QV. Nos textos E20, E148, SP229 e SP230 são apresentadas as propostas com essa vertente.

É relevante também destacar a iniciativa de outros periódicos. Em 2011, a **QN**, em alusão ao Ano Internacional da Química, dedicou uma coleção especial para destacar o impacto da área na promoção de melhorias sociais e bem-estar. Rezende (2011) enfatizou que “bons químicos se formam através de uma boa educação. E bons gestores também. Uma boa educação deve ser capaz de imprimir nos jovens conceitos sólidos sobre matemática, português, ciências, e muito sobre ética”.

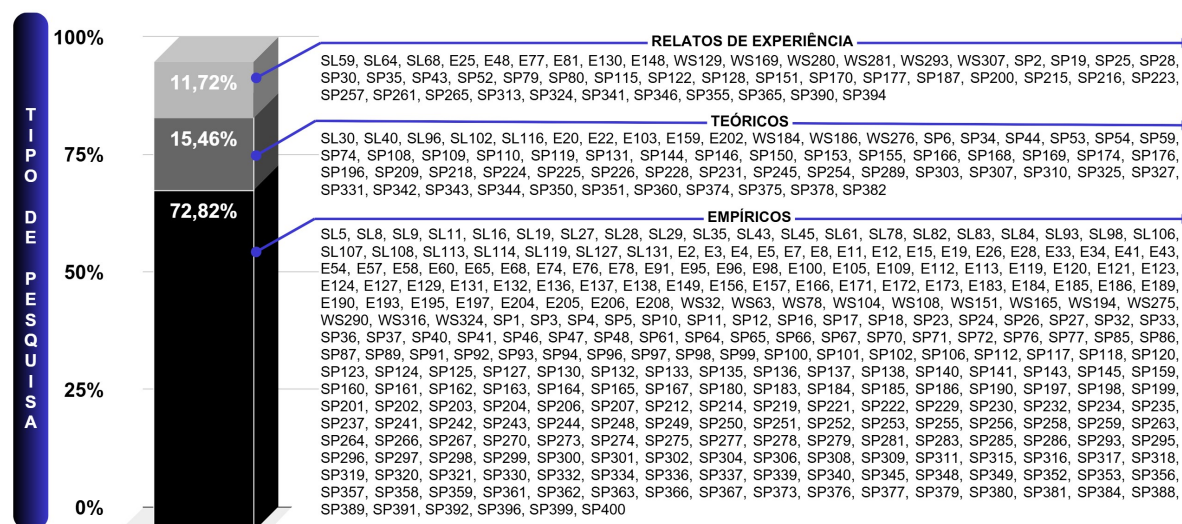
Dessa iniciativa, emergiu o estudo SP153, no qual é apresentado o detalhamento da emergência da QV nos anos de 1980 e 1990, inserida no contexto do ambientalismo e da consolidação do conceito de DS, evidenciado em 1987. A **EQ**, também engajada nessa comemoração anual, publicou o artigo SP375 temático “*2011 Año Internacional de la Química [Actitud Hacia la Química]*”, com enfoque no papel que a Química e seu ensino têm para superar situações emergentes e fomentar a sustentabilidade.

Natureza das Publicações

Os materiais foram classificados, segundo predominância, em teóricos ou empíricos, conforme os apontamentos de Santos e Greca (2013). Na primeira categoria foram incluídos materiais que abordassem propostas didáticas, reflexões teóricas fundamentadas e apresentação/discussão de referenciais teóricos. Na segunda, reunidos artigos concernentes a estudos tipicamente empíricos e levantamentos documentais. Adicionalmente, a categoria relato de experiência foi usada quando as informações eram essencialmente descritivas (Figura 5).

Figura 5

Natureza das publicações que relacionam a QV e o ensino



Fonte: Elaboração própria

A maior parte dos estudos ($n = 292$) foi classificada como empírica com um recorte amplo para a experimentação. Dentre os teóricos, no mais recente, WS184, é discutida a importância de reformulações curriculares com o argumento de que a Química deva ser ensinada de forma ética e balizada pela QV até que o termo “verde” seja desnecessário. Entre os relatos de experiência, os estudos apontam formas de como a QV foi implementada em departamentos de ensino (WS293) ou descrevendo experimentos desenvolvidos por grupos de pesquisas (SL64).

Frente a essa exposição inicial, são assinalados aspectos que permitem compreender a forma com qual o ensino de QV tem evoluído no bojo da educação científica e tecnológica. Iniciando de forma tímida, seu movimento ganha evidência apenas após os preceitos estabelecidos na importante publicação de Anastas e Warner (1998), cuja obra sistematiza os princípios da QV, ainda que suas tratativas já viessem sendo delineadas desde 1991.

Esse intervalo pode sinalizar que, apesar da importância do tema, sua disseminação mais efetiva no ensino de Química ocorreu a partir da definição desses elementos norteadores que se consolidaram, sobretudo pelo crescente volume de trabalhos desenvolvidos, fomentando, inclusive, o surgimento de uma revista temática, a *Green Chemistry*, em 1999 (Vaz et al., 2024).

Ao avançarmos nesse cenário, especialmente na última década, é latente o crescimento de pesquisas voltadas ao âmbito educacional sob diferentes formas de relatos e registros. Essa mobilização, impulsionada pelas demandas atuais, a exemplo dos ODS, reposiciona a Química em lugares distintos daqueles que historicamente ocupou, especialmente ao perpassar a formação de quem faz e

direciona suas práticas. Tal processo, por exemplo, valida movimentos que se preocupam com a prevenção de acidentes ou com o uso responsável dos recursos naturais em contraposição ao que foi um dia (Eilks et al., 2017; Machado, 2011).

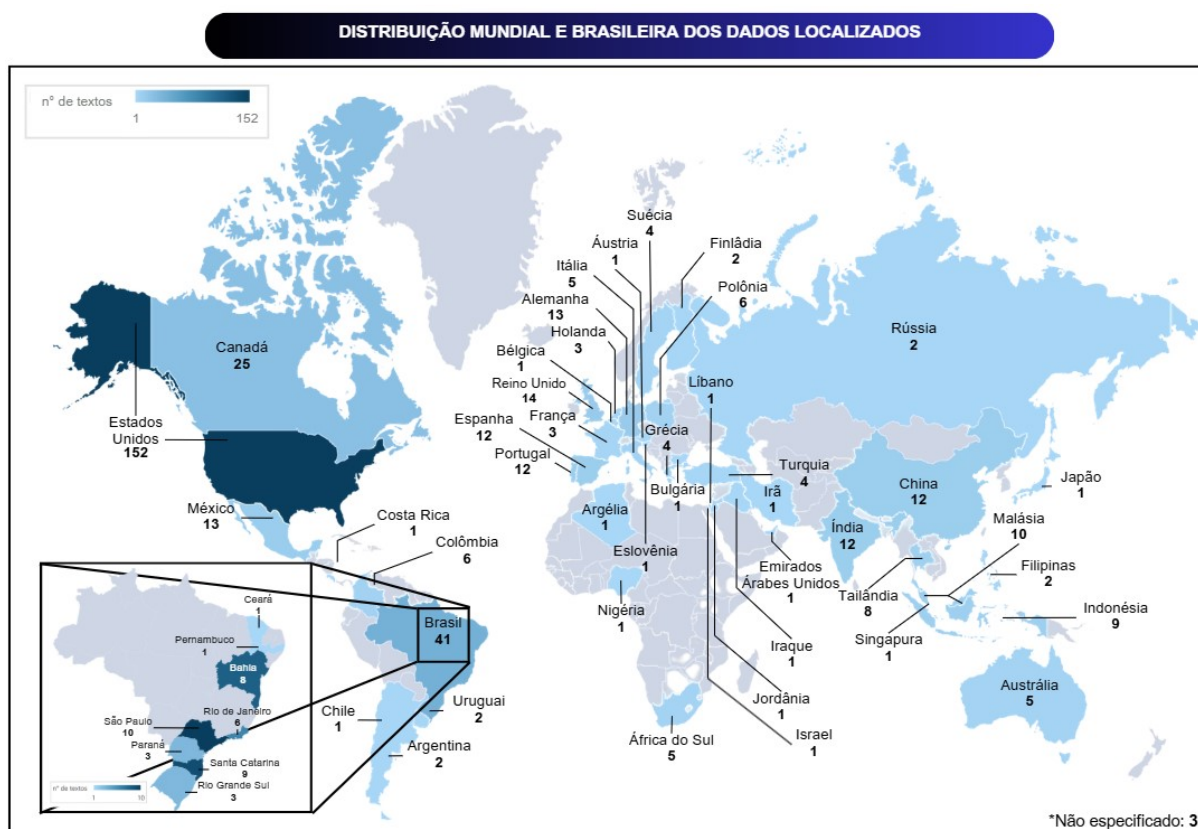
Desse modo, o arcabouço científico localizado, que expressa diferentes maneiras de abordar a QV (detalhadas adiante na categoria *Focos temáticos das pesquisas que relacionam QV e ensino*), aponta a revista internacional **JCE** como um veículo relevante de disseminação desse conhecimento e, ainda que em menor proporção, a **QN** também se figura como fonte secundária, no âmbito nacional. Esse achado converge com o estudo de Marques et al. (2020), que apresenta os referidos periódicos como potenciais canais de acesso sobre o tema.

Distribuição Geográfica das Pesquisas no Cenário Mundial e Brasileiro

Como parâmetro foi utilizado o vínculo institucional da primeira autoria, que, em alguns casos, apresentavam mais de uma vinculação. Os dados agrupados estão representados na Figura 6.

Figura 6

Localização do vínculo institucional das primeiras autorias das publicações que relacionam a QV e o ensino



Fonte: Elaboração própria

O continente americano concentra uma quantidade expressiva de pesquisas. Isso pode estar relacionado aos primeiros incentivos à QV e ser o local de emergência da terminologia. O precursor do conceito QV, Paul Anastas, juntamente com John Warner, responsáveis pelo agrupamento dos 12 princípios, são oriundos dos Estados Unidos, país que liderou o conjunto de publicações (Anastas & Eghbali, 2010; Anastas & Warner, 1998).

No Brasil, observamos um número considerável de produção científica, colocando-o em segundo lugar, seguido do Canadá, país de fronteira com o líder no tema. Destacam-se, ainda, os avanços realizados por pesquisadores da Europa e da Ásia, com frequências similares. Adicionalmente, os continentes africano e oceânico apresentam atividades menos expressivas.

O cenário brasileiro indica que os trabalhos estão concentrados predominantemente nas regiões Sul e Sudeste, com presença tímida do Nordeste e ausência de pesquisas nas regiões Centro-Oeste e Norte. Entre os achados, 23 trabalhos estão agrupados na **QN** (SL8, SL9, SL11, SL19, SL27, SL61, SL78, SL83, SL96, SL106, SL108, SL113, SL114, SL131, SP53, SP99, SP117, SP155, SP161, SP185, SP218, SP336 e SP345). Por outro lado, considerando também publicações na maior revista de veiculação (**JCE**), ressaltamos as contribuições de pesquisadores/as brasileiros/as nas publicações E105, SP130, SP237 e SP352.

Líderes de Pesquisas que Investigam a Relação entre a QV e o Ensino

No âmbito dessa análise, foram examinados os/as autores/as mencionados/as nos 401 estudos, totalizando 1105 pesquisadores/as. Dos quais, 164 estão presentes em pelo menos dois trabalhos, balanço esse que favoreceu gerar a Figura 7, que expressa a frequência dos/as pesquisadores/as para, assim, compreendermos as contribuições na difusão de conteúdos associados ao tema.

Pesquisadores/as identificados/as em duas ou mais publicações que relacionam a QV e o ensino



Mageswary Karpudewan, da Escola de Estudos Educacionais da Universidade Sains Malaysia, Malásia, publicou entre 2009 e 2018 e suas contribuições são acessadas nos estudos E98, E149, SP115, SP133, SP141, SP249, SP275, SP361, SP362, SP366 e SP376. Por outro lado, Adélio A. S. C.

Machado, vinculado ao Departamento de Química e Bioquímica, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal, colaborou em pesquisas entre 2010 e 2020 nos trabalhos SL40, E22, SP4, SP10, SP136, SP153, SP185, SP212, SP251, SP259 e SP281.

Seguido desses, James E. Hutchison, do Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Ciências dos Materiais da Universidade de Oregon, EUA, detém participação nos manuscritos E77, E95, E136, E189, SP124, SP169, SP180, SP309, SP341 e SP382, datados de 2000 e 2019.

Notadamente, as contribuições dos autores mencionados evidenciam suas relevâncias como integrantes potenciais de grupos de pesquisa, apesar de, em alguns contextos, não identificarmos colaborações recentes. Faz-se igualmente importante validar o comprometimento de outros/as pesquisadores/as expressos/as na Figura 7, cujos esforços têm sido promissores para o progresso da linha de pesquisa e que, porventura, podem se consolidar como referências no campo.

No espectro dos locais e dos/as pesquisadores/as que movimentam o desenvolvimento de pesquisas no contexto nacional, é notória uma concentração nas regiões Sul e Sudeste. Tal fato indica a necessidade de mobilizar esforços para a expansão da área e para sua inserção em outros espaços, principalmente aqueles marcados como incipientes. A ausência de uma formalização que assegure a integração da QV ao ensino constitui um dos aspectos que limitam o avanço e a disseminação de pesquisas de forma mais incisiva, considerando, evidentemente, o olhar delineado a partir dos achados deste estudo.

Apesar de não haver uma política educacional que incite o ensino de QV no Brasil, o estudo de Vaz et al. (2024) mapeou o panorama de seu ensino no país, buscando evidenciar os avanços em disciplinas de graduação e pós-graduação. Os resultados encontrados, de certo modo, nos permitem correlacioná-los à produção científica nacional localizada. As instituições da região Norte apresentam menor expressividade de disciplinas, fato esse que corrobora o papel e a importância dos grupos de pesquisas como propulsores desse movimento (Vaz et al., 2025).

A morosidade na implementação da QV nas instituições evidencia uma imaturidade no ensino desse campo, o que reflete em uma formação fragilizada. Esse cenário compromete não apenas esse eixo em si, mas também a articulação com outros elementos da tríade institucional — pesquisa e extensão — especialmente no que se refere às atividades voltadas à sustentabilidade (Silva Júnior et al., 2022; Silva Júnior et al., 2024).

Na comunidade internacional, uma rede de fomento em destaque é a *Beyond Benign*, que tem como objetivo contribuir com a formação de professores, estudantes e comunidade em geral, por meio da oferta de materiais educacionais e do fortalecimento institucional na parceria com signatários comprometidos com a QV. A partir da análise do mapa global⁷ da rede, no Brasil, observa-se maior centralidade de instituições signatárias nas regiões Sul e Sudeste, o Nordeste (Bahia, Paraíba e Piauí) e o Centro-Oeste (Distrito Federal, Mato Grosso do Sul e Goiás) com baixa representatividade e ausência da região Norte, até o presente momento.

Essa distribuição, de certa forma, mostra similaridades com o panorama nacional revelado a partir dos nossos dados, ao destacar as regiões Sul e Sudeste e assinalar a ausência da região Norte. A novidade, entretanto, reside na presença do Centro-Oeste, bem como de dois estados do Nordeste (Piauí e Paraíba), agora expressos. Isso nos permite ressaltar iniciativas de outros locais, à medida que também pode indicar um possível desconhecimento da rede por parte de alguns grupos de pesquisas.

Outro aspecto a ser pontuado é que, embora os autores em destaque na nuvem de palavras (Figura 7) sejam do cenário internacional, no contexto brasileiro, Gaspar et al. (2023), ao atualizarem o delineamento das pesquisas sobre o ensino de QV no país, apontam o pesquisador Carlos Alberto Marques, bem como as pesquisadoras Vânia Gomes Zuin e Marilei Casturina Mendes Sandri como agentes centrais na disseminação de práticas voltadas ao tema.

Esse fato valida o reconhecimento de tais nomes em nossa nuvem, ressaltando-os como partícipes relevantes no fortalecimento desse campo do saber no Brasil. Nesse processo, o trabalho de Marques et al. (2023) demonstra um movimento essencial para ampliar as ações sobre o tema: a parceria entre grupos de pesquisas, tanto no âmbito nacional quanto internacional, cujo qual evidencia a sinergia científica entre Carlos Alberto Marques, Marilei Sandri, Adélio Machado e outros colaboradores, sendo esse último um dos destaques identificados em nosso levantamento.

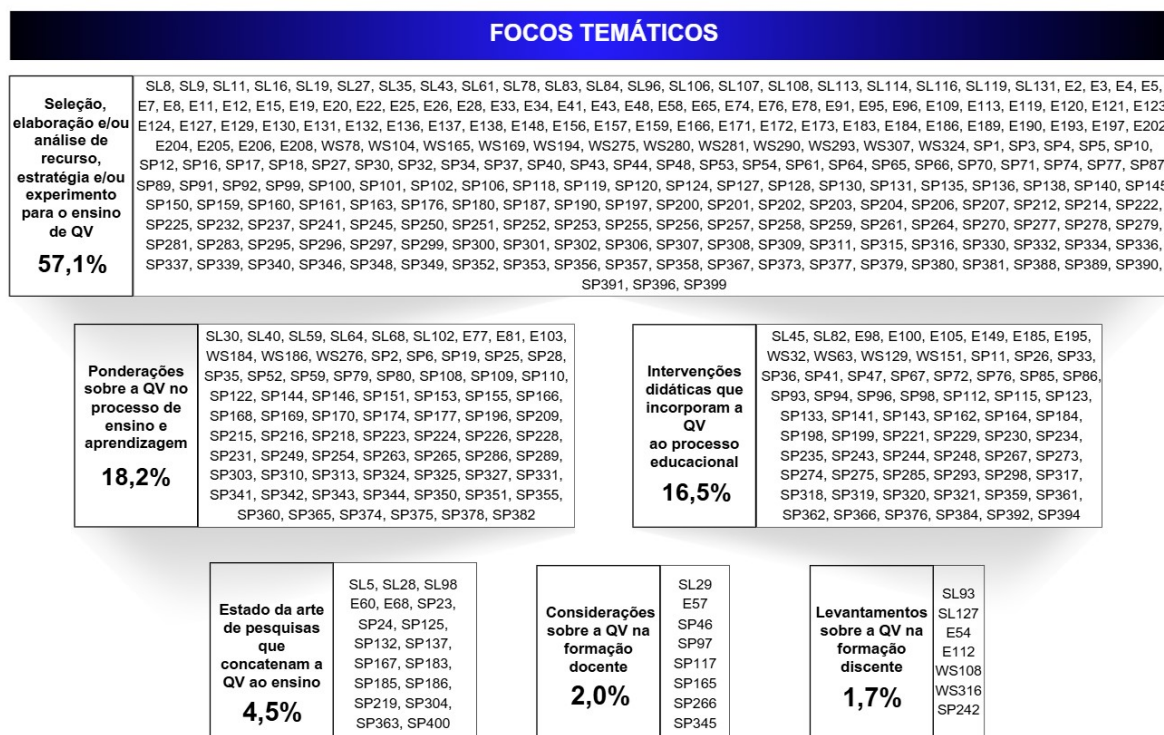
⁷ Mapa dos signatários do Compromisso da Química Verde: <https://www.beyondbenign.org/he-green-chemistry-commitment/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

Focos Temáticos das Pesquisas que Relacionam QV e Ensino

Classificamos os materiais em seis categorias (Figura 8). Embora alguns trabalhos apresentem mais de uma concepção, optamos por atribuir apenas categoria única dada a amplitude do acervo.

Figura 8

Focos temáticos principais categorizados nas publicações que relacionam a QV e o ensino



Fonte: Elaboração própria

Observamos a predominância de estudos voltados para a “seleção, elaboração e/ou análise de recurso, estratégia e/ou experimento para o ensino de QV”, embora que, em menor proporção, outros enfoques sobressaíam. Esse fato vai ao encontro do que apontam Vaz et al. (2024), ao denotarem a “análise e produção de materiais didáticos e a seleção e planejamento de experimentos” como estratégias recorrentes para integrar a QV aos conteúdos de disciplinas.

Seleção, Elaboração e/ou Análise de Recurso, Estratégia e/ou Experimento para o Ensino de QV

Os estudos agrupados nesta categoria visam projetar ou discutir sínteses e/ou procedimentos experimentais “esverdeados”. Alguns trabalhos vão além,

acrescentando técnicas de análise e/ou caracterização ou incluindo métricas para avaliar a eficiência das práticas adotadas.

A primeira evidência desse movimento pode ser observada no estudo SP180, publicado no **JCE** (seção “*In the Laboratory*”), em 2000, cujo intuito foi realizar uma síntese utilizando reagentes “verdes”, com esforços para minimizar a quantidade de resíduos gerados. De forma similar, SP309, de 2001, também propõe uma rota mais verde, porém sem a utilização de solventes e permitindo explorar conceitos de cromatografia e espectroscopia. Quanto ao uso de métricas, os estudos publicados em 2003, SL61 e WS280, abordam a economia/eficiência atômica.

Ainda sobre a experimentação, alguns estudos buscam alinhar formas que favoreçam o desenvolvimento do pensamento sistêmico. Três trabalhos reunidos na edição “*Reimagining Chemistry Education: Systems Thinking, and Green and Sustainable Chemistry*”, do **JCE**, tem como propostas: a) oportunizar aos alunos aplicarem o pensamento sistêmico e os princípios da QV (E184); b) apresentar um experimento sintético de nanopartículas magnéticas usando extrato de batata (SP339); e c) descrever uma adaptação do experimento de espectroscopia vibracional de dióxido de carbono (SP339).

Considerando a ampla variedade de propostas experimentais localizadas, Andrade e Zuin (2021) reforçam que essas práticas, ao articular conceitos científicos com dimensões sociais, econômicas, ambientais e tecnológicas, favorecem um direcionamento mais sólido aos sujeitos sobre como integrá-los no seio da sociedade, à medida que contribui com a alfabetização científica e com modelos de ensino e aprendizagem orientados ao DS.

Isso, além de minimizar estratégias descontextualizadas, constitui formas de perpassar as paredes dos laboratórios, inserindo conceitos que transcendem o tecnicismo dessas atividades (Zandonai et al., 2014). Desse modo, entendemos a importância da experimentação no desenvolvimento de uma formação crítica, cidadã e profissional, desde que sejam consideradas abordagens superiores, potencializadas pelo que almeja o objetivo central da QV e seus princípios.

Outros enfoques da QV são revelados como discussões aprofundadas. Em SL96 é apresentado, por exemplo, um panorama sobre a função industrial do cloro, explorando experimentos miniaturizados utilizados na Indústria Química, enquanto em SL116, ilustra-se algumas transformações fotoquímicas que ocorrem na atmosfera sob a ação da radiação solar.

Quanto aos recursos didáticos, as produções disponibilizam instrumentos ou atividades para analisar a “verdura” e métricas reacionais ou o ciclo de vida de

produtos. Isso inclui desde a elaboração, como o estudo SP65, até a descrição de um experimento virtual para estimular a criticidade em torno de processos químicos, conforme apontado em SP34.

O estudo E130 fornece um conjunto de ferramentas on-line para uma compreensão mais amplada QV. Outros, como o WS169 e o SP161, enfatizam formas de divulgar e disseminar o tema, seja pela disponibilização ou adaptação de materiais educativos, seja pela tradução dos elementos figurativos da tabela periódica “verde” de Anastas e Zimmerman (2019). O estímulo a uma sensibilização significativa sobre a relevância da QV pode ser acessado em SP74, no qual a Química Computacional torna-se aliada.

Também foi avaliada a incorporação do tema em livros didáticos, a qual indicou incipiência por meio do estudo SP159. Essa conclusão se alinha às análises de SP163 que, ao investigarem livros de Química Orgânica, identificaram o tratamento da QV como limitado e que sua integração em edições mais recentes ocorre de forma lenta.

Outro destaque observado foi a elaboração de instrumentos para examinar o conhecimento dos alunos sobre a QV. Como propostas mais recentes, destacam-se: o exame prático para estudantes do último ano da graduação, utilizando a *EcoScale* (uma ferramenta semiquantitativa) e diversas métricas de massa (WS290); o recurso desenvolvido em SP118 para determinar a assimilação dos conceitos da QV na educação básica; e o modelo proposto em SP100 que permite um diagnóstico rápido e acessível.

Evidenciam-se, ainda, estratégias para integrar a QV ao ensino, seja através de séries didáticas (E48, WS275, SP87 e SP357) ou pelo delineamento de cursos, projetos e workshops voltados ao aprofundamento do tema (SL35, E202, WS281, SP61, SP89, SP124, SP160, SP222, SP257, SP261, SP299, SP311, SP346, SP352 e SP358). Algumas especificidades ressaltam a articulação da QV com o ensino de áreas específicas da Química (SP30), com o uso de estudos de caso (SP43 e SP356) ou com iniciativas voltadas à sua divulgação (E148 e WS293).

Nesse íterim, observamos que a notoriedade de trabalhos nessa categoria figura ações voltadas para atividades laboratoriais, com foco na graduação e forte ênfase em conteúdos de Química Orgânica — tanto em aspectos teóricos quanto práticos. Estudos indicam essa afinidade, uma vez que as reações orgânicas constituem pilares importantes em diversas cadeias produtivas da nossa sociedade (Goes et al., 2013; Zandonai et al., 2014).

A aplicação dos princípios da QV pode justificar essa predominância, especialmente pela viabilidade experimental que eles oferecem em otimizar sínteses mais “verdes” por meio, por exemplo, do cálculo da economia atômica de reações, a depender do tipo; da avaliação da necessidade do uso de um determinado tipo de solvente, bem como da possibilidade de eliminá-lo do processo; ou do estímulo ao emprego de produtos naturais como os biorreagentes. Exemplos dessa natureza mostram-se como caminhos para o cumprimento de um ou mais princípios.

No entanto, essa centralização em torno da Química Orgânica pode expressar limitações sobre a dificuldade de inserir a QV em outras subáreas da Química, ou mesmo em outras áreas do conhecimento; em diferentes contextos de ensino, dado o maior direcionamento à graduação; e a forma de trabalhar seus pressupostos, os quais preconizam a promoção de estratégias metodológicas que possibilitem desenvolver habilidades e competências alinhadas aos anseios do DS.

Por conseguinte, é válido pontuar a necessidade de destacar outras formas de consolidar a QV no ambiente de ensino. Uma alternativa se dá pela proposição do uso de recursos didáticos como apoio, especialmente porque, como posto, a análise de livros e manuais — materiais básicos de ensino — revela uma incipiência na apresentação de informações e detalhes sobre o tema.

Essa lacuna, inclusive, pode fundamentar a baixa expressividade da QV em sala de aula, uma vez que ao utilizarem esses materiais como guias de ensino, muitos docentes não se sentem preparados ou seguros para abordar o tema sem o devido aprofundamento, ou mesmo por desconhecer formas ou locais de acessar mais informações. No entanto, essas ressalvas podem, de certo modo, ser minimizadas a partir dos exemplos apresentados nas pesquisas localizadas, que se mostram como estratégias viáveis para tratar a temática.

Com o apoio de Goes et al. (2013), ressaltamos que, apesar dos entraves impostos, como ausência curricular, a filosofia da QV tem elementos que propiciam sua articulação com diversos conteúdos. Mas, para isso, é preciso romper a forma como a Química ainda tem sido ensinada, frequentemente centrada em teorias e de forma instrumentalizada, quando, na realidade, almejam-se sujeitos capazes de argumentar, analisar criticamente, integrar conceitos interdisciplinares e solucionar problemas.

Ponderações sobre a QV no Processo de Ensino e Aprendizagem

Mediante a predominância de trabalhos teóricos ou relatos de experiência, os estudos buscam situar os professores sobre o surgimento da QV e seus avanços, bem como explorar sua correlação com outras áreas ou questões específicas (SL30, SP144 e SP153). Ainda há os que propõem maior divulgação de seus elementos (SL40 e SL102) e os que relacionam a QV à equidade, justiça ambiental, responsabilidade social e pensamento sistêmico (WS186, SP196, SP289, SP303, SP341, SP342, SP343 e SP365). Outros focam na exploração de materiais, parâmetros e tendências pertinentes ao ensino do tema (WS276, SP155, SP166, SP168, SP170, SP224, SP226, SP228, SP231, SP254, SP325, SP331, SP344, SP350 e SP374).

Há também um tratamento sobre a inserção da QV sob modos práticos em Departamentos e Universidades/Instituições de Ensino (SL59, SL68, E77, E103, SP2, SP19, SP25, SP35, SP52, SP79, SP80, SP110, SP151, SP215, SP216, SP265, SP324, SP351, SP355, SP375 e SP378) ou realizadas por grupos de pesquisa/estudo (SL64, SP6, SP28, SP122, SP223 e SP313).

A importância de discutir os impasses e as possibilidades da sustentabilidade como eixo central em ambientes propícios podem ser acessados nos estudos E81, SP59, SP108, SP109, SP174, SP177, SP209, SP218, SP286, SP310, SP327 e SP360. Além disso, também são evidenciadas considerações sobre a necessidade de adaptação curricular (WS184, SP146, SP169 e SP382), destacando marcos que sinalizam a efetividade desse encaminhamento (SP249 e SP263).

Com esse diagnóstico, ratificam-se os esforços dos trabalhos aqui localizados em validar a educação como pilar fundamental para a consolidação da QV (Zuin et al, 2021). Apesar dos seus mais de 30 anos de surgimento, ainda há cenários em que suas concepções são apresentadas ou exploradas de forma limitada, ou mesmo ausentes. Esse impasse impacta diretamente a qualificação dos estudantes, os quais não são estimulados a responder às demandas atuais, que vão desde o projeto de substâncias benignas até o desenvolvimento de tecnologias adequadas a solucionar problemas sociais, ambientais e econômicos.

Outro aspecto importante é que, por ter uma abordagem holística, a QV demanda a superação das barreiras tradicionais da Química, movimentando-se entre as diferentes áreas para garantir maior aplicabilidade de seus objetivos. Pensá-la de forma isolada não será suficiente para garantir seu êxito enquanto prática sustentável.

Estudos apontam que essa visão integrada estimula os estudantes a tomarem decisões mais assertivas frente aos problemas desafiadores e complexos (Zandonai et al., 2014). Sob essa perspectiva, faz-se necessário que as áreas se interseccionem para ampliar o potencial de sucesso e permitir que diferentes cenários sejam beneficiados com maior segurança, equidade e justiça ambiental.

Intervenções Didáticas que Incorporam a QV ao Processo de Ensino e Aprendizagem

As tendências que englobam a participação de discentes no processo de ensino e aprendizagem apresentam objetivos múltiplos ao ofertar espaços nos quais eles possam:

- Vivenciar uma formação emancipatória e aprendizagem autônoma, desenvolvendo competências e habilidades relacionadas à comunicação, compreensão, atitude, pensamento crítico e criativo e trabalho em equipe, norteadas pela tomada de decisão, argumentação e alfabetização científica;
- Valorizar o papel da QV como ferramenta de sensibilização e caminho à sustentabilidade, avaliada, em alguns casos, através do estímulo ao ganho de aprendizagem conceitual sobre essa filosofia ou temas afins;
- Reconhecer componentes da QV na formação inicial de professores, na prática pedagógica, nas atividades experimentais e na articulação com outras áreas/subáreas por meio do tratamento de questões locais, controversas ou sociocientíficas.

No primeiro eixo, a Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem Based Learning* - PBL, do inglês) mostrou-se como um processo metodológico recorrente, a exemplo dos estudos SP96 – aplicação de um modelo de ensino de Química Ambiental voltada para a QV, que resultou em significativa melhoria nas habilidades de pensamento criativo dos estudantes; SP267 – desenvolvimento de uma ferramenta de PBL orientada para a QV, que demonstrou potencial para aprimorar as habilidades sociais entre alunos do ensino médio; SP274 – implementação da PBL por meio de um projeto para promover a discussão e a aplicação dos princípios da QV, que, além de favorecer a compreensão conceitual, contribuiu para o desenvolvimento de competências, como o pensamento crítico, e para o aprimoramento da oralidade e da escrita; e SP359 – elaboração e aplicação de

planilhas em PBL, que, ao integrar QV e etnociência, fortaleceram habilidades cognitivas, psicomotoras e afetivas.

No segundo cenário, em SP199 o recurso *Green Machine* foi desenvolvido para incentivar a aprendizagem baseada em jogos, abordando, em conjunto, o pensamento sistêmico na QV e sua relação com os ODS. Aplicado na graduação e pós-graduação, a análise do desempenho, por meio dos ganhos de aprendizagem, revelou que o *Green Machine* é mais pertinente para a formação em nível superior como ferramenta introdutória à QV e sustentabilidade por estimular os discentes a desenvolverem um olhar sistêmico em seu aprendizado.

Na terceira amostragem, um exemplo é o estudo SP94. Nele são apresentadas discussões sobre pesticidas convencionais e alternativas, desenvolvendo um currículo baseado em evidências para o ensino de Química no nível secundário e de graduação. O plano de aula, estruturado na forma de caso, comparou o uso do glifosato (pesticida convencional) com o óleo de laranja (pesticida verde). A análise dos resultados indicou que a maioria dos alunos compreendeu a complexidade da controvérsia, reconhecendo a relevância social da Química e sua contribuição para uma indústria mais sustentável.

Entre os objetivos localizados, observamos consonância com o estudo que avaliou formas efetivas de ensinar QV. Morales et al. (2024) destacaram a importância de estratégias que promovam o desenvolvimento de competências transversais como forma de melhorar a comunicação, o trabalho em equipe e o pensamento crítico, de maneira ética e responsável. Além disso, incluiu a adoção de abordagem interdisciplinar visando ampliar a compreensão dos princípios da QV através de uma estrutura mais complexa e que se volte à resolução de problemas.

No entanto, para que isso se concretize, torna-se imprescindível moldar os processos de ensino e aprendizagem, especialmente em realidades que iniciativas voltadas a essa aspiração sejam escassas (Pino, 2024). É por meio da educação que os conceitos se consolidam, empoderando sujeitos dos diferentes níveis de ensino a se alfabetizarem em QVS (Andrade & Zeidler, 2025) e a integrarem a multidisciplinaridade que esse conceito preconiza (Silva Júnior et al., 2022).

Desse modo, a partir dessa experiência, aprofundamos o detalhamento de todos os contextos de ensino, com ênfase nos níveis-alvo e nas áreas envolvidas nos processos:

Níveis-alvo de Ensino das Pesquisas.

Frente a esse recorte, ratificamos que o ensino de QV tem se concentrado, predominantemente, em atividades voltadas para a graduação, como evidenciado no estudo de Savec e Mlinarec (2021). Do total de 65 trabalhos analisados, 43 apresentam um direcionamento centrado nesse nível de ensino (SL45, SL82, E98, E100, E105, E185, WS32, WS63, WS151, SP11, SP26, SP36, SP41, SP72, SP76, SP85, SP93, SP94, SP96, SP98, SP141, SP143, SP162, SP164, SP198, SP199, SP221, SP229, SP230, SP234, SP235, SP243, SP244, SP274, SP275, SP285, SP317, SP318, SP319, SP321, SP362, SP366 e SP392).

Em contrapartida, identificamos 19 estudos voltados à educação básica (E185, E195, SP33, SP67, SP86, SP94, SP112, SP115, SP133, SP184, SP248, SP267, SP273, SP293, SP298, SP359, SP361, SP376 e SP384). Adicionalmente, salientamos intervenções direcionadas a um público pré-universitário (E149), à pós-graduação (SP36, SP123, SP143, SP199, SP317) e, pontualmente, a um público de graduados (WS129). Em três trabalhos esse diagnóstico não foi percebido (SP47, SP320 e SP394).

Notadamente, observa-se um crescimento contínuo das pesquisas na educação básica, porém Ware (2001) ressalta a tendência de os estudantes da graduação e pós-graduação serem considerados os principais públicos para a implementação de programas de QV, devido ao maior domínio de conceitos e maior probabilidade de aplicação desse conhecimento. Além do que, entre os limitadores da inserção da QV na educação básica, aponta-se a: forma de implementação, formação docente, relação do conhecimento químico com a realidade dos estudantes, rigidez curricular, carga de trabalho dos docentes, falta de estrutura laboratorial e restrições de recursos didáticos (Nahlik et al. 2023; Pereira et al., 2024; Silva Júnior et al., 2024).

Áreas de Concentração das Pesquisas.

Quanto às áreas do saber dos públicos envolvidos nas intervenções, verificamos um maior direcionamento a discentes dos cursos de Química (WS32, WS63, WS151, SP36, SP41, SP85, SP94, SP123, SP143, SP199, SP230, SP243, SP244, SP274, SP321 e SP362). Entre as especificidades, sobressaem: Licenciatura em Química (SL82), Bacharelado em Química (SP98), Engenharia Química (E105, WS129 SP36, SP98, SP274), Engenharia Química e Biotecnologia (SP318), Química Industrial (SL45, SP98), Química Medicinal (SP229), Química Ambiental (SP96), Bioquímica (SP85, SP36), Química Sintética (WS129), Métodos

de Ensino de Química (E98), Educação Química (E185 e SP221), Mestrado em Química Verde e Tecnologia Industrial Sustentável (SP199) e uma pós-graduação dedicada à Química Verde (SP36).

Tal demanda pode ser justificada pela relação intrínseca entre a filosofia da QV e as práticas químicas, dada sua origem e implicações diretas sobre o "modo de fazer Química". No entanto, a QV abarca conceitos e tendências que perpassam os conhecimentos dessa ciência central. Por essa lupa, ampliamos a análise para verificar outras áreas do saber cujo ensino da QV tem sido ponderado.

Nesse percurso, verificamos o envolvimento de participantes da Biologia (SP11 e SP199), Ciências Biomédicas (WS63), Microbiologia (WS63), Antropologia (WS63), Cosméticos (WS129), Engenharia de Pesquisa e Desenvolvimento (WS129), Compras Sustentáveis (WS129), Gestão de Laboratório (WS129), Saúde Ambiental (WS129), Coordenação de Sustentabilidade (WS129), Relacionamento com o Cliente (WS129), Engenharia Industrial (WS129), Ciências Ambientais (SP36 e SP85), Artes (WS32), Educação Científica (SP141, SP275 e SP366) e Ensino e Pesquisa Acadêmica (WS129).

Embora ainda não haja uma uniformidade sobre a melhor forma de implementar a temática, se de forma isolada ou articulada com outras áreas (Gunbatar et al., 2025), a intervenção proposta no estudo WS32 aponta a viabilidade de empregar os princípios da QV na produção de obras de arte, utilizando materiais recuperados, reciclados e naturalmente disponíveis, bem como solventes e tintas atóxicas. A proposta foi concretizada por meio de um curso interdisciplinar "*Art in the Anthropocene: greener art through greener chemistry*", articulando conteúdos da Arte e da Química.

Pontualmente, a intervenção apresentada no estudo WS129 descreve um currículo com abordagem interdisciplinar, estruturado nos moldes de um programa de certificação em Química Verde e Gestão Química. O curso foi desenvolvido para engajar os participantes a desenvolverem competências alinhadas à sua atuação profissional. Destinado a graduados de diferentes áreas, o programa teve a QV como eixo integrador, alinhando assuntos relacionados ao pensamento sistêmico, negócios, saúde ambiental, ferramentas de avaliação e justiça socioambiental.

Os exemplos apresentados — seja pelo envolvimento com temáticas relevantes, seja pela discussão de questões controversas — aprofundam e ressaltam os benefícios concretos de integrar a QV ao ensino. Além disso, respondem às necessidades atuais por práticas educativas que estimulem reflexões centradas em formas de atender às pautas da sustentabilidade.

Dentro do que foi apresentado, é possível estimar que os resultados atingidos extrapolam o momento específico do processo de ensino e aprendizagem, uma vez que os estudantes são instigados a serem mais conscientes e sensíveis às necessidades atuais, passando a valorizar a QV como motor importante de transformação. Isso referenda que a formalidade do seu ensino propicia uma fundamentação mais sólida de seus preceitos, servindo como parâmetro para que esses indivíduos fomentem práticas inovadoras a partir de uma consciência sustentável (Vaz et al., 2025).

De modo prático, esse olhar precisa se expandir para contemplar públicos para além da graduação, considerando a carência de ações mais direcionadas à educação básica. Reconhece-se, nesse contexto, potenciais limitações, entre elas, a formação continuada de professores, sobretudo porque educadores com pouca experiência em QV enfrentam maiores obstáculos para articular conteúdos, metodologias e práticas interdisciplinares (Silva Júnior et al., 2024).

Quanto às áreas dos públicos alcançados, uma ressalva positiva é que, embora muitas ações estejam voltadas a estudantes de Química, faz-se igualmente relevante destacar o aspecto transdisciplinar da QV. Seus conceitos, ao serem colocados para dialogar com os saberes de outras áreas, impulsionam a viabilidade de sua explanação em contextos educacionais diversos, transpassando os limites da própria Química.

Estado da Arte de Pesquisas que Concatenam a QV ao Contexto Educacional

A análise dos achados revelou um total de 18 trabalhos voltados ao estado da arte da QV e sua relação com o âmbito educacional. Os estudos apresentam diferentes objetivos e enfoques, com destaque para aspectos sobre a incorporação da QV no ensino (SP24, SP125, SP137, SP167, SP185, SP186, SP363 e SP400). Além disso, algumas pesquisas abordam temas específicos, como a execução laboratorial (SL98, E60, E68 e SP23), a avaliação de tendências de ambientalização no currículo (SL5), a implementação de biotecnologia no contexto educacional (SP219), o conhecimento didático do conteúdo de docentes (SL28) e as potenciais conexões entre QV e pensamento sistêmico (SP132, SP183 e SP304).

No estudo SP23, publicado em 2009, um panorama da reatividade orgânica em meio aquoso sob uma perspectiva didática é exposto, uma vez que a água é apontada como um solvente viável para diversas reações orgânicas, de forma segura e reprodutível. Por outro lado, três trabalhos publicados em 2022 (SP132,

SP167 e SP219) expressam os respectivos objetivos: a) apresentar uma revisão sistemática sobre as conexões entre o pensamento sistêmico e a QV no ensino; b) investigar e sintetizar o estado atual da Educação em Química Verde (EQV) em economias emergentes da Ásia; e c) utilizar a análise bibliométrica para avaliar as tendências de pesquisa em biotecnologia aplicada à educação em QV na última década (2012-2022).

Esse cenário exemplifica os diferentes agrupamentos já realizados em torno da educação científica e tecnológica sobre QV. Considerando os anseios de cada estudo, a maioria apresenta como ponto comum o intuito de abordar aspectos relacionados aos processos de ensino e aprendizagem, lançando o olhar para diferentes vias de acesso. Esse ponto está em consonância direta com o presente estudo.

De forma similar, o estudo SP125 aproxima-se com a nossa proposta, quando busca apresentar pesquisas que concatenam a QV ao ambiente educacional. Sinergicamente, trata-se de uma revisão sistemática fundamentada no PRISMA, contemplando três bases de dados (Web of Science, Scopus e ERIC). Em nossa revisão, adicionamos a essas, a base SciELO na tentativa de incluir produções sobre QV do cenário nacional.

Em essência, ainda que haja similaridades, os critérios adotados divergem quanto ao idioma definido das pesquisas, aos termos de busca e, em parte, ao recorte temporal e à condução analítica. O estudo de Savec e Mlinarec (2021), que considerou produções exclusivamente na língua inglesa, incluiu em suas análises aspectos relacionados aos 12 princípios da QV e às subáreas da Química. Em contraste, a nossa revisão incluiu elementos outros, como os locais de vínculo das pesquisas, os/as autores/as envolvidos/as nas ações, bem como as articulações da QV com outras áreas do saber científico.

Sem desconsiderar evidências mais recentes, posto que o nosso estudo estabeleceu o limite temporal até o ano de 2022, outras revisões em periódicos nacionais e internacionais lançaram mão de objetivos múltiplos. Reconhecendo as especificidades de cada uma, na esfera internacional, Morales et al. (2024) denotam uma atenção à formação inicial e continuada na articulação da QV no processo de transição para a QS, englobando, ainda, a importância das políticas educacionais e ambientais como ferramentas proeminentes para uma integração mais efetiva do tema ao currículo.

Por sua vez, Marcelino et al. (2023) reforçam a necessidade de envolver os discentes em um modelo de ensino diferente do tradicional, de modo que sejam

despertados a investigar a realidade e a desenvolver habilidades frente a desafios reais. Gunbatar et al. (2025) evidenciaram poucos estudos voltados à verificação do desenvolvimento de habilidades e variáveis afetivas, sugerindo pesquisas futuras que se concentrem na elaboração de instrumentos para avaliar tais aspectos.

Em periódicos nacionais, o estudo de Marcelino e Marques (2023) destaca o pensamento sistêmico, a educação para sustentabilidade, as sínteses orgânicas verdes, as métricas e a inserção da QV no ensino como temas de pesquisas. Divididas entre abordagens instrumentalizantes e metacientíficas, os autores recomendam estudos que as interseccionem para promover uma educação em QV mais efetiva, a partir de um ensino crítico e humanizado.

Pereira et al. (2024), por sua vez, exploram o ensino de QV na educação básica brasileira, mencionando a experimentação, a ruptura das especializações do conhecimento químico e a formação inicial dos professores de Química como eixos que figuram os avanços e os desafios dessa prática. Sob outra perspectiva, Marques et al. (2023), ao avaliarem as contribuições do ensino de QV no Brasil, a partir de produções acadêmicas que incluíssem pelo menos um autor brasileiro, apontam a **QN** como o periódico de maior recorrência na veiculação de informações sobre o tema. Adicionalmente, ressaltam o interesse crescente por essas ações em nosso país.

Os aspectos evidenciados nos trabalhos supracitados, de algum modo, dialogam com os apontamentos desta pesquisa, sobretudo por reafirmar a demanda por iniciativas que promovam a inserção do ensino de QV. Esse movimento de iniciação, por vezes, é despertado de lacunas percebidas por grupos de pesquisas, que buscam modelos capazes de introduzir tais conceitos em contextos ainda pouco receptivos, ao reconhecerem sua importância no âmbito educacional.

Apesar disso, um desafio ainda maior reside na formação continuada, uma vez que docentes em atuação precisam reconhecer a necessidade de atualização para incorporar, de maneira mais consistente, os conceitos da QV nos processos formativos de agentes sociais e profissionais. Desse modo, também defendemos a perspectiva de que, além de aspectos tecnicistas em torno do tema, também sejam exploradas dimensões humanizadoras.

Um instrumento potencial é a Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável (TPQVS), proposta por Anastas e Zimmerman (2019). Ela sistematiza elementos figurativos que servem de base para direcionar objetivos a serem praticados. Dada sua versatilidade, a tabela contempla não apenas enfoques processuais e tecnológicos da QV, mas também perspectivas humanas, de sistema

e de nobreza, configurando-se como um recurso para promover uma Química orientada à sustentabilidade.

Nesse apanhado, os estudos localizados se mostram proeminentes ao apresentarem detalhamentos relevantes à luz da literatura. Com base nas especificidades a serem alcançadas, eles fornecem informações sobre metodologias adotadas, temas abordados, recursos potenciais e particularidades exploradas, além de evidenciarem dificuldades, desafios e lacunas existentes. Estas, por sua vez, são fundamentais para inspirar movimentos ou mudanças em torno de novas iniciativas, bem como gerar *insights* que promovam possibilidades de superá-las.

Considerações sobre a QV na Formação Docente

Embora menos representativas, identificamos ações voltadas ao docente em atuação. O foco direciona-se a esse perfil de professores, pois os contextos de formação inicial foram identificados, via de regra, nos trabalhos alocados na categoria das intervenções didáticas. Aqui, observamos que as iniciativas buscam avaliar as impressões e os conhecimentos dos professores sobre a inclusão da QV e de temas correlacionados no contexto do ensino (E57, SP46, SP117, SP165, SP266 e SP345), além de explorar potenciais desafios desse processo (SL29) e contribuições na formação continuada (SP97).

No estudo SP266 foi avaliado o conhecimento pedagógico de conteúdo ou PCK (*Pedagogical Content Knowledge*, do inglês) de QV entre professores universitários atuantes em diferentes disciplinas nos cursos de Bacharelado em Química, Química Ambiental, Química Industrial e Licenciatura em Química. Os resultados apontaram que é dada uma maior atenção à QV nos cursos de Química Ambiental e Industrial. Adicionalmente, os propósitos do ensino de QV foram categorizados em três modelos: tradicional, contextualizado e sociocientífico.

A análise revelou que os docentes de Química Orgânica detêm uma relação mais direta com os conceitos da QV e tendem a adotar abordagens sociocientíficas quando comparados com professores das outras subáreas. Esse resultado, de certo modo, reitera o exposto na categoria *Seleção, elaboração e/ou análise de recurso, estratégia e/ou experimento para o ensino de QV*, na qual se observa um maior direcionamento para essa subárea e de que os princípios da QV parecem ser mais evidentes em sínteses orgânicas.

Alguns estudos também sugerem essa relação (Savec & Mlinarec 2021; Andraos & Dicks, 2012). Além desses, Marcelino e Marques (2023), por exemplo, ao

categorizarem pesquisas anteriores, identificaram as “Sínteses Orgânicas Verdes” como um dos agrupamentos mais recorrentes, envolvendo o ensino de catálise, o uso da água como solvente, a busca por melhores condições energéticas, além de abranger reações clássicas.

A partir do arcabouço científico já produzido para desenvolver sínteses orgânicas mais verdes, sugerimos que, para avançar no ensino de QV na subárea, novos encaminhamentos emergem, o que pode justificar a melhor integração da dimensão sociocientífica nas ações de docentes de Química Orgânica, em contraste com o modelo de ensino que ainda busca, ao menos, incorporar os princípios da QV em propostas didático-pedagógicas.

Outro aspecto relevante pode ser o fato de a Química Orgânica estar inserida em contextos cujas práticas usam quantidades expressivas de reagentes ou solventes, o que amplia a necessidade de refletir sobre estratégias que minimizem a elevada produção de carga residual. Um exemplo pode ser percebido pela métrica Fator E (relação entre a quantidade de resíduos gerados e o produto desejado) da indústria farmacêutica, que tem índices variando de 25 a 100. Isso significa que, quanto maior esse valor, maior é a produção de resíduos no processo, quando, idealmente, essa relação deva ser zero (Serrano, 2009; Tonini et al., 2024).

Isso suscita uma questão sociocientífica relevante: como uma indústria essencial à promoção do bem-estar pode, ao mesmo tempo, operar em condições que vão de encontro à premissa basilar da QV, que é a minimização de resíduos? Isso posto, ainda assim, não se pode inviabilizar a valorização de práticas que avancem para além dessa centralidade, de modo que a QV se consolide também em outras subáreas da Química e em contextos de ensino variados.

No tocante à formação continuada, em SP97 foi explorado como uma equipe de docentes desenvolveu sua linguagem e compreensão sobre QV a partir do Programa de Professor Líder da *Beyond Benign*. Os participantes descreveram e justificaram o uso de QV de maneiras diversas, apesar de convergirem no reconhecimento dela em proporcionar bem-estar e segurança. Essa experiência evidencia-se como um exemplo do papel dessa rede, a qual sinalizamos anteriormente, e como ela tem se mobilizado para engajar instituições de ensino no compromisso com a QV.

A maioria dos estudos que envolvem a atuação de docentes tende a se concentrar na compreensão de seus conhecimentos em torno dos conteúdos e conceitos da QV e sua importância no espaço de ensino. No entanto, faz-se importante priorizar a formação de profissionais em uma perspectiva ampla, na qual

o conhecimento químico se desenvolva a partir de potenciais dificuldades ambientais, sociais, educacionais e produtivas (Andrade & Zuin, 2021; Goes et al., 2013).

Uma formação inicial distante desses preceitos influencia diretamente nesse domínio, impactando a prática docente. Por isso, garantir o envolvimento com a QV desde a formação inicial constitui-se forma relevante de fortalecer essa compreensão de maneira mais segura e crítica. Apesar dos entraves impostos por currículos ainda incipientes, na última década, a QV tem penetrado progressivamente nas camadas educacionais, por meio de projetos, seminários e palestras, ganhando maior visibilidade e espaço (Pereira et al., 2024).

No entanto, faz-se necessário reconhecer a importância de ações voltadas à formação continuada, a qual se destaca por fomentar o processo de ensino e aprendizagem, incorporando aspectos atuais, promissores e qualificados. Em contrapartida, ressalta-se também a necessidade de engajar os docentes a compreenderem a relevância do tema e a se sentirem motivados a explorá-los em suas salas de aulas, pois, mesmo diante de tais oportunidades formativas, o esvaziamento desses espaços pode acontecer.

Isso tende a ser ainda mais evidente no caso de docentes com perfil conservador (Vaz et al., 2024), que desconsideram a pertinência do tema e não se sentem provocados a se atualizar. Tal aspecto leva a um exercício centrado na exposição de conteúdos, oferecendo pouco ou nenhum espaço para o desenvolvimento de objetivos procedimentais e atitudinais importantes (Goes et al., 2013).

Como possibilidades para a educação científica e tecnológica, ao buscarmos compreender como as questões da sustentabilidade podem ser inseridas no ensino de Química, Burmeister et al. (2012) versam sobre quatro modelos: 1º) adotando os princípios da QV nas aulas experimentais; 2º) adicionando a sustentabilidade e a QV como parte do currículo; 3º) usando controvérsias da sustentabilidade como questões sociocientíficas para estimular discussões científicas; e 4º) proporcionando que toda a educação escolar/acadêmica (não somente a Química) se volte para o DS.

Os modelos podem se sobrepor, ou mesmo se combinar, cujas possibilidades de aplicações práticas estão direcionadas tanto para a educação básica como para o nível superior. O modelo 1 é o mais simples e mais viável de implementação, porém é o 4 o mais avançado, que propõe projetos orientados para uma educação centrada no DS de forma mais abrangente. Mas, em qualquer dos casos,

reconhece-se que essa imersão exige professores qualificados, visto que a educação continuada é essencial para fornecer conhecimentos e habilidades sobre o tema.

Levantamentos sobre a QV na Formação Discente

De forma incipiente, esta categoria dá ênfase ao diagnóstico de como a QV está presente na formação escolar ou acadêmica de discentes (SL93, SL127, E54, E112, WS108, WS316 e SP242). As formas de levantamento foram diversas, assim como o perfil do público avaliado.

Na pesquisa SL93, a partir de mapas conceituais elaborados por discentes dos cursos de Bacharelado em Química; Bacharelado em Química Ambiental e Licenciatura em Química, foram evidenciadas as concepções relacionadas à Química Ambiental e QV, bem como as associações definidas entre elas e as áreas tradicionais da Química. De modo geral, os discentes mostraram dificuldades em expressar visões amplas, inclusivas e integradas sobre os tópicos em análise, além de fornecerem delineamentos fortemente influenciados pelas estruturas curriculares dos diferentes cursos da área e manuais de estudo.

Por outro lado, em SP242 foram investigados os conhecimentos, crenças e atitudes dos estudantes em relação ao sétimo princípio da QV, a fim de subsidiar a inclusão de conteúdos adequados nos currículos e práticas escolares. O estudo centrou-se em estudantes da educação básica e partindo dos dados coletados em um questionário fechado, os resultados apontaram uma lacuna significativa no conhecimento, incluindo diversos equívocos entre eles.

Esse cenário corrobora a percepção de que o ensino de Química ainda tem se pautado em práticas que, em grande parte, não valorizam os preceitos da QV, restringindo-se a contextos específicos e situações pontuais. Tal impasse dificulta a propagação e a implementação dos objetivos da QV, impedindo que ela seja difundida de forma contínua e integrada. Essa preocupação, conforme já pontuado, pode estar associada a lacunas na formação docente, o que implica diretamente no acesso efetivo pelos estudantes a esses saberes.

Assentindo que a educação em QV auxilia no desenvolvimento de habilidades inerentes a uma formação compromissada em valores humanos, éticos, legais e científicos (Andrade & Zuin, 2021), observam-se mobilizações para a sua inserção na oferta de disciplinas optativas (Gunbatar et al., 2025). No entanto, essa condição limita a abrangência do tema junto ao corpo discente, ficando restrita a um grupo

menor, formado por sujeitos já familiarizados e/ou que se interessam pela vertente (Vaz et al., 2025).

Outro aspecto é que, por vezes, a QV é tratada apenas como um conteúdo isolado dentro de uma disciplina, o que faz com que sua essência se perca diante da ausência de continuidade e de diálogo entre os pares. É preciso ampliar a divulgação de suas possibilidades, evidenciando, de forma contextualizada, suas aplicações sólidas e posicionando-a como uma aliada fundamental para a Indústria Química, sendo capaz de contribuir significativamente com a sociedade e seu entorno.

De modo geral, frente aos focos temáticos apresentados, foi possível ponderar sobre as pesquisas localizadas, reconhecendo suas intenções e encaminhamentos. As classificações propostas configuram-se como espaços de diagnósticos, oferecendo subsídios para direcionar os movimentos futuros da temática. Entretanto, faz-se importante destacar que o escopo desta análise se limitou à classificação dos objetivos mais centrais de cada estudo, razão pela qual as categorias apontadas podem, de algum modo, interseccionar-se entre os trabalhos analisados.

Considerações Finais

A Química, enquanto ciência central, assume responsabilidade significativa em relação à comunidade e ao ambiente que a circunda. A QV, como um caminho que direciona à Química Sustentável (QS), desempenha, em conjunto, formas para mitigar problemas históricos gerados pela prática química, à medida que evita a manifestação de novos desafios. Por meio desta revisão de literatura, buscamos compreender como se caracterizam as propostas que integram a QV ao ensino.

A partir do objetivo posto, pautamo-nos em verificar práticas, tendências e desafios relacionados à inclusão do tema no seio educacional, dada a necessidade de cumprir os ODS da Agenda 2030, especialmente no que diz respeito às metas estabelecidas para esse fim. Compilamos um número significativo de estudos (n = 401), que serviram de base para traçar direcionamentos sobre suas principais características.

Os materiais analisados destacam a forte relação do ensino de QV a práticas experimentais. Essa dimensão contribui no desenvolvimento do pensamento crítico, ao possibilitar inferências sobre como projetar produtos mais seguros, minimizando os riscos diversos associados aos seus processos e à sua degradação, por

exemplo. Além disso, observa-se inferências que estimulam a reflexão, a discussão e a efetiva incorporação da QV sob diversas formas, com ênfase nas vivências e *feedbacks* desse processo.

É igualmente relevante mencionar os diagnósticos sobre os saberes de docentes e discentes quanto à QV, com evidências de aspectos que transcendem a área da Química. Esse fato reforça sua concepção como uma filosofia transdisciplinar, suscetível de ser explorada em diferentes áreas do saber, expandindo suas benesses para além do campo de manifestação.

No âmbito das intervenções didáticas, os movimentos experienciados são mais efetivos no ensino de graduação, dado o eixo articulador entre a profissão e a cadeia produtiva. No entanto, esse cenário ressalta a necessidade de uma maior integração da temática ainda na educação básica, especialmente para que, como partícipes de uma comunidade, possam compreender a função e a responsabilidade social da Química à luz da QV.

Como posto, a QV é alicerce fundamental da Química, sua presença em toda a educação potencializará o alcance de seus preceitos a um maior número de alunos, além de oportunizar espaços para o desenvolvimento da alfabetização científica, valorizando e expandindo os benefícios já alcançados e debatendo sobre os que estão por vir. Assim, desenvolver essa consciência desde cedo, favorece que os discentes sejam disseminadores de informações relevantes e estimulados a promover atitudes mais sustentáveis, de forma responsável e comprometida.

Mas, para isso, é fundamental não perder de vista a oferta de ações formativas voltadas àqueles que também são atores nesse processo — docentes em formação inicial e continuada — para que reconheçam a importância de inserir a QV em suas práticas. Sensibilizá-los a valorizar um ensino de Química alinhado às recomendações atuais de uma educação que promova a reflexão sobre ações mais verdes e sustentáveis, integrando os conteúdos de forma contextualizada e significativa, não é apenas válido, mas necessário.

No entanto, as ações docentes, por si só, não serão suficientes para mobilizar mudanças curriculares se não houver um apoio amplo. Nesse processo, convém destacar o papel do sistema de ensino, bem como de setores externos, cuja participação é essencial para validar e sustentar avanços mais sólidos. Sem isso, qualquer iniciativa individual tende a perder força, dificultando a consolidação desse movimento tão premente.

Faz-se importante ressaltar que este estudo, apesar de se mostrar como uma via de acesso importante, fornecendo um panorama robusto de informações sobre a

QV no ensino, não se constitui como um diagnóstico definitivo e único das produções científicas. Dentro das limitações metodológicas, é plausível que pesquisas relevantes tenham sido omitidas, fato este que também implica nos dados discutidos ao longo do nosso trabalho.

Destacamos também limitações quanto à aplicação integral do protocolo e cumprimento dos 27 itens do PRISMA. No caso desta revisão, voltada à área do ensino, essas dificuldades decorreram, sobretudo do perfil dos materiais localizados, da diversidade e natureza dos resultados apresentados, bem como das implicações em empregar critérios relacionados aos vieses de publicação, que tendem a ser mais tangíveis em pesquisas clínicas.

Registro e Protocolo

Não houve registro em base.

Referências

- Almeida, Q. A. R., Silva, B. B., Silva, G. A. L., Gomes, S. S., & Gomes, T. N. C. (2019). Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. *Amazônia*, 15(34), 178-187. <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v15i34.6971>
- Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green Chemistry: Principles and practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301-312. <https://doi.org/10.1039/B918763B>
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2019). The Periodic Table of the Elements of Green and Sustainable Chemistry. *Green Chemistry*, 21(24), 6545-6566. <https://doi.org/10.1039/C9GC01293A>
- Andrade, R. S., & Zuin, V. G. (2021). A experimentação na Educação em Química Verde: uma análise de propostas didáticas desenvolvidas por Licenciandos em Química de uma IES federal paulista. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 21, e25960, 1-22. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2021u13171338>

- Andrade, R. S., & Zeidler, V. G. Z. (2025). A Química Verde e Sustentável: Dos princípios à inserção na Educação Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 208-229.
- Andraos, J., & Dicks, A. P. (2012) Green Chemistry Teaching in higher education: A review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 69-79. <https://doi.org/10.1039/C1RP90065J>
- Armstrong, L. B., Irie, L. M., Chou, K., Rivas, M., Douskey, M. C., & Baranger, A. M. (2024). What's in a word? Student beliefs and understanding about Green Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 25(1), 115-132. <https://doi.org/10.1039/D2RP00270A>
- Bardin, L.(2016).*Análise de Conteúdo*. Edições 70.
- Burmeister, M., Rauch, F., & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and Chemistry Education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 59-68. <https://doi.org/10.1039/C1RP90060A>
- Eilks, I., & Rauch, F. (2012). Sustainable development and Green Chemistry in Chemistry Education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 57-58. <https://doi.org/10.1039/C2RP90003C>
- Eilks, I., Sjöström, J., & Zuin, V. (2017). The responsibility of chemists for a better world: challenges and potentialities beyond the lab. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 12(1), 97-105.
- Farias, L. A., & Fávaro, D. I. T. (2011). Vinte anos de Química Verde: Conquistas e desafios. *Química Nova*, 34(6), 1089-1093. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000600030>
- Garritz, A., & Talanquer, V. (2012). Las áreas emergentes de la Educación Química: Naturaleza de la Química y progresiones de aprendizaje. *Educación Química*, 23(3), 328-330.[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30116-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30116-7)
- Gaspar, C. S., Bouzon, J. D., Brandão, J. B., & Chrispino, A. (2023). Ensino de Química Verde no Brasil: mapeamento de publicações a partir da análise de redes sociais. *Educación Química*, 34(4), 156-172. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.4.84696>

- Goes, L. F., Leal, S. H., Cono, P., & Fernandez, C. (2013). Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de Química Verde em professores universitários de Química. *Educación Química*, 24, 113-123. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72504-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72504-7)
- Gomes, C. J. C., & Zeidler, V. G. Z. (2023). Green and Sustainable Chemistry teacher education: Experiences from a Brazilian university. *Sustainable Chemistry*, 4(3), 272-281. <https://doi.org/10.3390/suschem4030020>
- Gunbatar, S. A., Kiran, B. E., Boz, Y., & Oztay, E. S. (2025). A systematic review of Green and Sustainable Chemistry training research with Pedagogical Content Knowledge framework: current trends and future directions. *Chemistry Education Research and Practice*, 26(1), 34-52. <https://doi.org/10.1039/D4RP00166D>
- Luz, L. T. S., Gomes, S. I. A. A., Sandri, M. C. M., Mello, F., & Bolzan, J. A. (2019). Avaliação e otimização das condições de obtenção do ácido acetilsalicílico para fins didáticos. *Educación Química*, 30(2), 54-69. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.67393>
- Machado, A. A. S. C. (2011). Da gênese ao ensino da Química Verde. *Química Nova*, 34(3), 535-543. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000300029>
- Marcelino, L. V., & Marques, C. A. (2023). A pesquisa em Ensino de Química Verde: Temas e tipologias de estudos. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 19(42), 232-254.
- Marcelino, L. V., Dias, E. D., Rüntzel, P. L., Milli, J. C., Santos, J. S., Souza, L. C. A. B., & Marques, C. A. (2023). Didactic features specific to Green Chemistry teaching in the Journal of Chemical Education. *Journal of Chemical Education*, 100(7), 2529-2538. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01091>
- Marques, C. A., Marcelino, L. V., Dias, E. D. S., Rüntzel, P. L., Souza, L. C. A. B., & Machado, A. (2020). Green Chemistry Teaching for sustainability in papers published by the Journal of Chemical Education. *Química Nova*, 43(10), 1510-1521. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170612>
- Marques, C. A., Sandri, M. C. M., Marcelino, L. V., Dias, E. D. S., & Machado, A. A. S. C. (2023). Green Chemistry Teaching: a panorama from Brazilian authors. *Actio Docência em Ciências*, 8(3), 1-27.

- Miller, J. L., Wentzel, M. T., Clark, J. H., & Hurst, G. A. (2019). Green Machine: A card game introducing students to systems thinking in Green Chemistry by strategizing the creation of a recycling plant. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 3006-3013. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00278>
- Morales, R. S., Sáenz-López, P., & Perez, M. A. H. (2024). Green Chemistry and its impact on the transition towards sustainable chemistry: A systematic review. *Sustainability*, 16(15), 6526. <https://doi.org/10.3390/su16156526>
- Nahlik, P. C., Kempf, L., Giese, J., Kojak, E., & Daubenmire, P. L. (2023). Developing Green Chemistry Educational principles by exploring the Pedagogical Content Knowledge of secondary and pre-secondary school teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 283-298. <https://doi.org/10.1039/D2RP00229A>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021) The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BJM*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pereira, J. G. N., Lima, M. L. S. O., & Sampaio, C. G. (2024). Avanços e desafios da Educação em Química Verde (EQV) no Brasil: Uma revisão sistemática da literatura. *Revista Cocar*, 21(39), 1-21.
- Pino, A. L. (2024). Evaluación de una metodología de enseñanza-aprendizaje en Química Verde. *Educación Química*, 35(3), 60-72. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.87434>
- Rezende, C. M. (2011). Ano Internacional da Química. *Química Nova*, 34(1), 3-4. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000100001>
- Santos, F. M. T., & Greca, I. M. (2013). Metodologias de pesquisa no ensino de ciências na América Latina: como pesquisamos na década de 2000. *Ciência & Educação*, 19(1), 15-33. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132013000100003>

- Savec, V. F., & Mlinarec, K. (2021). Experimental work in science education from Green Chemistry perspectives: A systematic literature review using PRISMA. *Sustainability*, 13(23), 12977. <https://doi.org/10.3390/su132312977>
- Serrano, M. C. D. (2009). Química Verde: Un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación Química*, 20(4), 412-420. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30044-2](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30044-2)
- Silva Júnior, C. A., Jesus, D. P., & Giroto Júnior, G. (2022). Química Verde e a Tabela Periódica de Anastas e Zimmerman: Tradução e alinhamentos com o Desenvolvimento Sustentável. *Química Nova*, 45(8), 1010-1019. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170893>
- Silva Júnior, C. A., Morais, C., Jesus, D. P., & Giroto Júnior, G. (2024). The role of the Periodic Table of the Elements of Green and Sustainable Chemistry in a high school educational context. *Sustainability*, 16(6), 2504. <https://doi.org/10.3390/su16062504>
- Tonini, M. D. L., Lopes, R. O., & Barbosa, M. L. C. (2024). Aplicação da Química Verde na produção de insumos farmacêuticos ativos. *Revista Virtual de Química*, 16(4), 635-646. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20240020>
- Vaz, C. R. S., Giroto Junior, G., & Pastre, J. C. (2024). A adoção da Química Verde no ensino superior brasileiro. *Química Nova*, 47(3), e-20230117, 1-10. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230117>
- Vaz, C. R. S., Morais, C., Pastre, J. C., & Giroto Junior, G. (2025) Teaching Green Chemistry in higher education: Contributions of a problem-based learning proposal for understanding the principles of Green Chemistry. *Sustainability*, 17(5), 2004. <https://doi.org/10.3390/su17052004>
- Ware, S. A. (2001). Greening the curriculum: American Chemical Society education programs. *Pure and Applied Chemistry*, 73(8), 1247-1250. doi.org/10.1351/pac200173081247
- Zandonai, D. P., Saqueto, K. C., Abreu, S. C. S. R., Lopes, A. P., & Zuin, V. G. (2014). Química Verde e formação de profissionais do campo da química: relato de uma experiência didática para além do laboratório de ensino. *Revista Virtual de Química*, 6(1), 73-84. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140007>

Zuin, V. G., Segatto, M. L., Zandonai, D. P., Grosseli, G. M., Stahl, A., Zanotti, K., & 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 biocircular economy in Brazil. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2975-2983. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00286>

Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., & Kümmerer, K. (2021). Education in Green Chemistry and in Sustainable Chemistry: Perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23(4), 1594-1608. <https://doi.org/10.1039/D0GC03313H>

Notas

TÍTULO DA OBRA

O ensino de Química Verde: uma revisão sistemática da produção científica nacional e internacional

Nayana Bruna Nery Monção

Mestra em Química

Universidade Federal do Piauí, Colégio Técnico de Floriano, Floriano, Brasil e

Programa de Pós-Graduação em Química, Teresina, Brasil

brunanery@ufpi.edu.br

<https://orcid.org/0000-0002-2095-1423>

Bacharela em Química (2012) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) com habilitação à Licenciada em Química (2021), por meio da complementação pedagógica, pelo Centro Universitário FAVENI. Mestra em Química (2015) pela UFPI e atualmente cursando doutorado na mesma instituição, na linha de pesquisa de Ensino de Química, com realização de estágio sanduíche na Universidade de Coimbra (Portugal). Professora no Ensino Médio do Colégio Técnico de Floriano (CTF) da UFPI, atuando na pesquisa e extensão.

Haroldo Araripe Carvalho de Alencar

Licenciado em Química

Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Química, Teresina, Brasil

haroldoararipe@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-3255-1451>

Mestrando em Química pela Universidade Federal do Piauí. Possui graduação em Licenciatura em Química (2012). Possui experiências nas áreas de Polímeros, Ensino de Química, Meio Ambiente e Química Computacional.

Luciana Nobre de Abreu Ferreira

Doutora em Ciências

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Química e Programa de Pós-Graduação em Química, Teresina, Brasil

lunobreabreu@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3505-9523>

Possui graduação em Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Ceará UFC (2006), mestrado em Ciências pelo Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo IQSC/USP (2009) e doutorado em Ciências pela Universidade Federal de São Carlos UFSCar (2012). É docente da Universidade Federal do Piauí, lotada no Departamento de Química do Centro de Ciências da Natureza. Atua em nível de graduação nos cursos de Química e, na pós-graduação, no Programa de Pós-Graduação em Química, orientando investigações na área de ensino de ciências/química. Coordena o Núcleo de Pesquisa em Ensino de Ciências NUPEC/CCN/UFPI e desenvolve atividades de extensão universitária voltadas à formação inicial e continuada de professores de Química.

Endereço de correspondência do principal autor

Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ)
Campus Universitário Ministro Petrônio Portella
Bairro Ininga, CEP 64049-550, Teresina - PI, Brasil
brunanery@ufpi.edu.br

AGRADECIMENTOS

Não se aplica.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito:N. B. N. Monção, H. A. C. Alencar e L. N. A. Ferreira

Coleta de dados:N. B. N. Monção e H. A. C. Alencar

Curadoria dos dados:N. B. N. Monção e H. A. C. Alencar

Análise de dados:N. B. N. Monção, H. A. C. Alencar e L. N. A. Ferreira

Discussão dos resultados:N. B. N. Monção, H. A. C. Alencar e L. N. A. Ferreira

Revisão e aprovação:L. N. A. Ferreira

CONJUNTO DE DADOS DE PESQUISA

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no artigo e na seção “Materiais suplementares”.

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Não se aplica.

LICENÇA DE USO

Os autores cedem à revista **Alexandria** os direitos exclusivos de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a [Licença Creative Commons Attribution](#) (CC BY) 4.0 International. Esta licença permite que terceiros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho publicado, atribuindo o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do trabalho publicada neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site

peçoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico.

PUBLISHER

Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Publicação no [Portal de Periódicos UFSC](#). As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

HISTÓRICO

Recebido em: 27-05-2025 – Aprovado em: 16-10-2025 – Publicado em: 27-02-2026