

A ADOÇÃO DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO SUPERIOR BRASILEIRO

Carlos Renato Strombeck Vaz^{a, b}, Gildo Giroto Junior^{a, b} e Julio Cezar Pastre^{a,*, b}^aInstituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 13083-970 Campinas – SP, Brasil

Recebido em 05/06/2023; aceito em 01/09/2023; publicado na web 26/10/2023

THE ADOPTION OF GREEN CHEMISTRY IN BRAZILIAN HIGHER EDUCATION. Despite being responsible for many essential products in our daily lives, the chemical industries have not given proper attention to environmental issues for a long time. In the late 90's, Green Chemistry (GC) emerged as a field of chemistry responsible for dealing with the relationship between the products used and their effects on human health and the environment. However, the employability of GC, in practice, is still incipient due to the little importance given to this field during the training of professionals. In Brazil, without a legislation that collaborates for its insertion, GC struggles to be part of the contents studied and the curricular matrices of higher education courses. This work aimed at revisiting the subject through an analysis of whether Brazilian higher educational institutions are working on disciplines related to Green Chemistry in their courses and how they are doing so. Based on the data obtained, it was noticed that this topic is more present in elective and theoretical disciplines, mainly for postgraduate and teaching training courses, taught predominantly in public institutions located substantially in the Southeast region. Although there are interesting proposals, the number of educational institutions that promote GC in their disciplines is still considered low.

Keywords: Green Chemistry; higher educational institutions; courses; curricular components.

INTRODUÇÃO

Estimativas apontam que em apenas dez anos a população ao redor do planeta aumentou em, aproximadamente, 1 bilhão de pessoas¹ e é fato que, ligado concomitante ao crescimento populacional, cresceu, também, o consumo dos recursos naturais do planeta e a produção de bens de consumo, acarretando no aumento de resíduos oriundos da população em geral e de resíduos provenientes dos setores industriais.²

A produção industrial, em especial, por meio do setor que engloba as indústrias químicas, gera grandes preocupações no que se refere às questões ambientais.³ Com início em meados do século XVIII, por meio do desenvolvimento da câmara de chumbo para produção de ácido sulfúrico e do processo Leblanc, cujo objetivo era obter carbonato de sódio, pode-se dizer que a indústria química nasceu como setor independente por uma necessidade de atender demandas de outros setores durante a revolução industrial, entretanto, só passou a crescer em larga escala a partir do século XIX com avanços proporcionados pelo desenvolvimento de outras áreas da química, incluindo a química orgânica.⁴ Durante os anos, este setor se desenvolveu e, na atualidade, uma infinidade de produtos essenciais em nosso cotidiano, como combustíveis, minerais, materiais, fármacos, alimentos, entre outros, têm sido produzidos.⁵

Apesar dos inúmeros benefícios proporcionados, durante muito tempo, pouca atenção foi dada a questões ambientais relacionadas com a produção nas indústrias químicas.⁶ Missiaggia² defende que grande parte das demandas atuais relacionadas à poluição ambiental é resultado da falta de preocupação com o meio ambiente e, principalmente, do desconhecimento do que determinados processos poderiam ocasionar.

A facilidade com a qual informações podem ser obtidas na atualidade culminou numa cobrança maior sobre as empresas por parte de seus consumidores. Para as indústrias químicas, na realidade, este “desconforto” teve início já no século passado.⁷ Nos Estados Unidos, após a publicação do livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), de Rachel Carson, em 1962, o movimento

ambientalista ganhou força, uma série de leis nesta área foram criadas e a sociedade passou a se preocupar mais com a saúde humana e ambiental.⁸ No Brasil, a criação do Programa Atuação Responsável[®] em 1992 pela Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim) demonstrou o compromisso com a temática em desenvolvimento,⁹ que já era objeto de discussões entre líderes mundiais.¹⁰ Como medida para minimizar os impactos ambientais, as indústrias químicas priorizavam o tratamento de resíduos.^{5,10} No entanto, em resposta aos debates emergentes na época, a remediação passou a ocupar uma posição secundária, abrindo caminho para processos que visam à prevenção da geração de resíduos ao invés de seu mero tratamento.¹⁰ Entre os processos que começaram a ser adotados estão a promoção da economia atômica, a implementação de processos catalíticos diferenciados, a redução do número de etapas nos processos reacionais, o uso de reagentes químicos provenientes de fontes renováveis, a substituição de solventes tóxicos por solventes menos agressivos, a substituição de solventes orgânicos por água ou, preferencialmente, a realização de reações sem o uso de solventes.¹¹ Essa mudança de abordagem resultou em significativos avanços, incluindo a diminuição do descarte de determinados solventes e do uso de metais na fabricação de embalagens.^{9,12} É nesse contexto que iniciaram-se as discussões sobre a área da química atualmente conhecida como Química Verde (QV), nos anos 90.¹³

O termo Química Verde foi criado em 1993, após expansão do programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”, proposto em 1991, pela agência norte-americana EPA (*Environmental Protection Agency* – traduzindo para português Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).^{5,10} Já em 1995, com o objetivo de reconhecer inovações tecnológicas que visam reduzir a geração de resíduos em diversos setores de produção industrial, o governo dos Estados Unidos estabeleceu o programa de premiação *The Presidential Green Chemistry Challenge* (PGCC).^{5,10} Em 1997 foi criado o *Green Chemistry Institute* (GCI), corporação dedicada a promover a química verde, que a partir de janeiro de 2001, estabeleceu uma parceria com a *American Chemical Society* (ACS). Em setembro de 1997, a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry* – traduzindo para português União Internacional de Química Pura e Aplicada) realizou

*e-mail: jpastre@unicamp.br

a sua primeira Conferência Internacional em Química Verde, em Veneza.¹⁰ Mas foi a partir de 1998, com o lançamento do livro *Green Chemistry: Theory and Practice* (Química Verde: Teoria e Prática) escrito pelos norte-americanos Paul Anastas e John Warner, que os números de trabalhos sobre QV começaram a crescer de maneira exponencial.¹⁴ O livro contém os doze princípios bases (Figura 1) para esse ramo da química e impulsionou diversos estudos.¹⁵ Com a crescente no número de artigos abordando a temática, a RSC (*UK Royal Society of Chemistry*) criou em 1999 o periódico *Green Chemistry*, que publica trabalhos na área.^{5,10}

Segundo a IUPAC,¹⁶ a Química Verde pode ser definida como “a invenção, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas”. Pode-se dizer que é a área transversal da química responsável por se preocupar com a relação entre os produtos utilizados e quais os efeitos desencadeados na saúde humana e no meio ambiente.¹⁷ Deste modo, a Química Verde se preocupa com a redução de possíveis poluidores.¹⁸

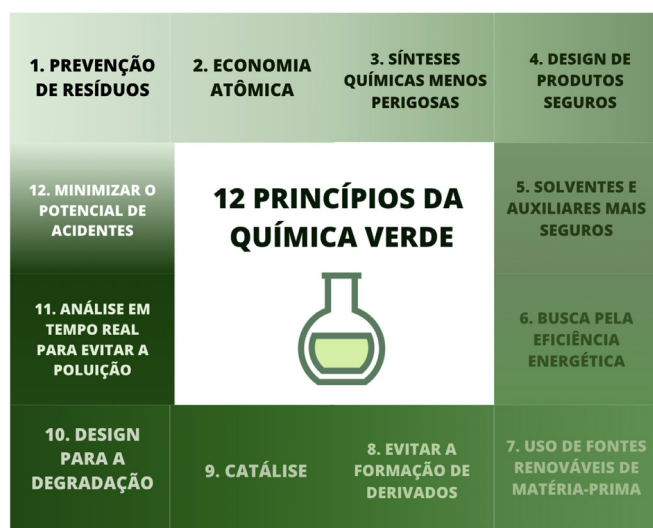


Figura 1. Os 12 Princípios da Química Verde (fonte: elaboração dos autores)

Em seus anos iniciais, com a QV buscava-se encontrar um equilíbrio entre o desenvolvimento industrial e a conservação do meio ambiente. Segundo Sanseverino,¹² embora os métodos desenvolvidos fossem relativamente novos para a época, as indústrias estavam em processo de adesão. Isso se dava em parte por pressões governamentais e, em parte, pelo objetivo de reduzir os custos de produção. As empresas perceberam que as alterações nas metodologias, com a adoção de novas rotas de produção, não apenas diminuíam o impacto ambiental, mas também reduziam os custos, evitando desperdícios.

Atualmente, apesar dos crescentes avanços obtidos em pesquisas que se relacionam à QV, pode-se considerar que a empregabilidade na prática, principalmente no que se refere aos setores industriais, ainda é algo incipiente.⁶ Como possível resposta para questionamentos sobre por quê as mudanças relacionadas a este setor não são efetivamente realizadas, é relevante considerar que, ainda que seja uma área extremamente valiosa e significativa, pouca importância é dada para este ramo da química durante a formação de alunos, seja no ensino regular (ensino médio) ou até mesmo durante a formação específica em cursos de nível superior relacionados à área.¹⁹ A resposta para uma significativa aplicação dos conceitos da Química Verde nos setores industriais está associada a um conjunto de ações dentre as quais o investimento na formação que permita aos profissionais conhecerem, debaterem e empregarem tais conceitos.²⁰

Goes *et al.*,²¹ evidenciam a necessidade de formações que sejam capazes de habilitar profissionais nesta área da química.

“[...] A demanda por profissionais capacitados nas diversas áreas da química tende a crescer, e para que sejam protagonistas do processo de crescimento sustentável, sua capacitação deve incluir a incorporação da QV como parte indissociável de sua prática profissional. Isso somente será possível com a difusão da QV nas diversas instâncias da formação de químicos, professores de química e engenheiros químicos.”²¹

Susdorf *et al.*²² defendem que a Química Verde pode contribuir como uma das bases para equacionar esta problemática, uma vez que “[...] oferece as ferramentas mais eficazes para vincular a química aos tópicos como saúde, desenvolvimento e justiça social em todos os níveis de educação escolar e acadêmica [...]”²² (tradução nossa), pois ela é “[...] uma plataforma apropriada para o ensino, promovendo a responsabilidade social, porque é um movimento social em si [...]”²² (tradução nossa).

Para que a QV possa ser aplicada de modo a aproveitar todos os potenciais benefícios que tem a oferecer é necessário que ocorram adequações nos processos de produção, de pesquisa e de ensino.²³ Torna-se evidente a necessidade de exceder as barreiras impostas que delimitam os avanços nesta área, e deve-se buscar alternativas para isto. No ensino, uma possível opção para implementar a Química Verde é inseri-la entre a grande quantidade de conteúdos que fazem parte das matrizes curriculares, como parte desses tópicos, inclusive, substituindo aulas experimentais tradicionais por atividades laboratoriais que respeitam os princípios da Química Verde.²⁴

Ao considerar os possíveis respaldos legislativos para a implementação de discussões sobre a Química Verde por parte das instituições de ensino, diferente de temas relacionados à educação ambiental (EA), ancorados na Lei Federal nº 9.795/99, que defende, a todos, o direito pela educação ambiental, devido a relação dessas áreas com todos os níveis e modalidades de ensino,²⁵ nota-se que não há referências explícitas ao ensino de QV no Brasil e, portanto, infere-se que essa área possa apenas estar inserida juntamente a outras temáticas no escopo de tal legislação. Observa-se ainda que, a partir da Lei nº 9.795/99, diversos setores da educação passaram por reformulações para proporcionar uma formação que a atendesse.²⁶ Em março de 2012 foram homologadas as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para a Educação Ambiental, documento que reforça o papel transformador, emancipatório e interdisciplinar que a EA possui.²⁷

Identificou-se, na literatura científica brasileira, apenas dois trabalhos realizando uma análise de como as instituições de ensino brasileiras estão abordando os conceitos de Química Verde. Gomes *et al.*²⁸ descrevem o cenário de como estão incluídos os conceitos de Química Verde nos cursos de licenciatura em Química dos Institutos Federais, enquanto que Almeida *et al.*²⁹ mapearam a educação em Química Verde nos cursos de licenciatura em instituições públicas brasileiras. Nota-se que em ambos, os autores analisaram, apenas, a aplicação dos conceitos de Química Verde em cursos de licenciatura, não sendo encontrados, até o momento, nenhum estudo que compreenda, de forma holística, o modo como se dá a inclusão da QV nos cursos de bacharéis e licenciaturas em química de instituições de ensino públicas e privadas brasileiras e relacionando esses aspectos com: a categoria administrativa na qual as instituições de ensino se adequam; a região do país em que estão localizadas; o modo como as disciplinas são abordadas; os cursos em que são ministradas; e uma análise mais precisa de como os conceitos de Química Verde são trabalhados por meio da ementa de cada uma das disciplinas. Paralelo a isto, a Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e

Cultura (UNESCO) definiu 2022 como sendo o Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável, sendo, portanto, uma oportunidade singular para trazer à tona discussões sobre temas relacionados à compreensão básica da natureza e como as ações humanas impactam diretamente nos recursos que ela oferece.³⁰

Portanto, tendo em vista a atualidade do tema e a sua abordagem concisa em outros trabalhos, este artigo possui como objetivo discutir, por meio de uma análise, quais e como as instituições de ensino brasileiras estão trabalhando disciplinas relacionadas à Química Verde em seus cursos de graduação ou até mesmo de pós-graduação, a fim de estabelecer um panorama sobre o ensino de QV, observando a maneira e a profundidade como está sendo implementada e qual relevância está sendo dada para o tema, e por fim, estabelecer um comparativo com a situação da QV nos EUA.

PERCURSO METODOLÓGICO

Este trabalho foi embasado em um levantamento de dados colhidos entre abril e agosto de 2022, com a finalidade de verificar quantas e quais instituições de ensino brasileiras trabalham, em seus cursos, disciplinas relacionadas à Química Verde. Portanto, nos pautamos na análise documental como técnica de acesso e tratamento de dados, por ser um método de pesquisa que utiliza diversas modalidades de registro como principal fonte de informação. Como apontam Lüdke e André,³¹ a análise documental se apresenta como uma valiosa técnica de abordagem de dados qualitativos. Segundo as autoras, os documentos são fontes de informações consolidadas e perenes. Gil³² enfatiza que há certos procedimentos que devem ser seguidos nesse tipo de estudo, tais como a seleção e organização das fontes de informações, uma análise minuciosa com descrição analítica e o devido tratamento e interpretação dos dados. Yin³³ acrescenta que a maior importância relacionada ao uso documental é a possibilidade de comprovar evidências provenientes de outras fontes. Para o autor, “os documentos podem fornecer outros detalhes específicos para corroborar as informações obtidas através de outras”.

Na primeira etapa de recolha das informações houve a busca por uma listagem com todas as instituições de ensino brasileiras catalogadas. As informações necessárias foram encontradas no site do e-MEC,³⁴ e por meio desta plataforma selecionou-se todas as instituições de ensino brasileiras que possuíam cursos de Química ou algum curso que estivesse diretamente relacionado com esta área, como cursos de Ciências da Natureza e Engenharia Química. Durante a seleção das instituições de ensino, optou-se, apenas, por aquelas que ainda estavam ativas no país, sendo, desta forma, excluídas da pesquisa as universidades desativadas ou em extinção.

A segunda etapa consistiu em realizar buscas individualizadas nos sites de cada instituição de ensino, buscando por disciplinas aplicadas sobre QV e os seus preceitos. Esta etapa foi feita exclusivamente através de pesquisas *on-line* nos sites das instituições e em sites de buscas, utilizando como descritores os nomes e as siglas (quando possuíam) das organizações de ensino, além de palavras-chaves como “Química”, “Química Verde”, “ementa”, “projeto pedagógico”, “ppc”, “disciplina” e “Engenharia Química”.

Também na segunda etapa, para todas as Instituição de Ensino Superior (IES) ativas utilizadas na busca, houve a coleta de dados que permitissem identificá-las, como a sigla e o nome da instituição. Na plataforma e-MEC³⁴ buscou-se por dados gerais sobre estas instituições, como a categoria administrativa em que se enquadram e o estado brasileiro em que estão localizadas, com o intuito de utilizar estes elementos para compreender se há ou não tendências de implementação da QV relacionadas a estes aspectos. Por fim, coletou-se, ainda, informações referentes a aplicação dos conceitos da QV em disciplinas dessas IES, como: abordam os conceitos de QV; nome e

ementa da disciplina que trabalha a QV; curso em que a disciplina é aplicada; disciplina optativa ou obrigatória; disciplina teórica ou experimental; links com as informações para facilitar o acesso.

A terceira etapa consistiu em uma revisão e organização das informações coletadas, com o intuito de diminuir possíveis erros obtidos durante o levantamento de informações.

É importante salientar que a base do levantamento constituiu-se em encontrar e categorizar informações qualitativamente e quantitativamente sobre disciplinas aplicadas em cursos de Química que abordassem os conceitos da QV partindo-se de um conjunto de categorias *a priori*³⁵ e, deste modo, pretendia-se identificar estes dados através do Projeto Pedagógico de Curso (PPC) ou das matrizes curriculares dos cursos analisados, entretanto, muitos documentos não estavam disponíveis para acesso *on-line*, de modo que, as informações foram verificadas, inicialmente, nas *webpages* oficiais das instituições de ensino e, quando disponíveis nestas páginas, foram analisados os documentos oficiais. Sendo assim, diferentes IES tiveram diferentes documentos considerados de acordo com a disponibilidade de acesso às informações pretendidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo, 370 instituições de ensino que mantêm cursos de Química foram consideradas neste levantamento e pesquisadas se possuíam componentes curriculares relacionados diretamente com a Química Verde. Dentre essas organizações de ensino, apenas 40 (10,8%) retornaram resultados com disciplinas exclusivas para trabalhar os conceitos da Química Verde. Com exceção de uma, todas possuíam o termo “Química Verde” como partes de seus nomes. Algumas destas instituições apresentaram mais de um componente curricular sobre a QV, totalizando 54 propostas dedicadas à área.

No que concerne às disciplinas cujo foco não era na Química Verde, mas que, de alguma forma, trabalham este conceito em meio a outros, foram encontradas propostas em 59 organizações de ensino (15,9%). Como também existiam instituições que detinham mais de um componente curricular relacionado à QV, ao todo, foram encontradas 79 disciplinas que abordam os tópicos desta área da química entre outros conteúdos.

Com base na descrição do *corpus* de dados, o mesmo foi analisado considerando dois conjuntos *a priori*: (i) para as disciplinas de QV e (ii) disciplinas que discutem a QV em meio a outros conteúdos mais clássicos da química.

Análise dos dados

Em relação à categoria administrativa (Figura 2), para as instituições com disciplinas de QV, 63,0% são ministradas em instituições públicas federais, 25,9% em públicas estaduais, enquanto que apenas 11,1% em instituições privadas. Já para as instituições com propostas de abordar a QV em meio a outros conteúdos, 63,3% são aplicadas em instituições públicas federais, 24,1% em instituições públicas estaduais, 2,5% em pública municipal e em instituições privadas de ensino 10,1%.

A análise destes dados mostra como, independente da forma que a QV é abordada, as instituições privadas ainda demonstram-se menos aderentes em atualizar os seus currículos no que tange a QV.

Quando se analisa as regiões em que se encontram as instituições de ensino em que as disciplinas são aplicadas (Figura 3), percebe-se que, dos 54 componentes curriculares que trabalham diretamente a QV: 48,2% encontram-se na região Sudeste, 18,5% na região Centro-Oeste, 14,8% na região Sul, 11,05% na região Nordeste, enquanto que a região Norte conta com apenas 7,45%. Para as disciplinas que empregam conceitos de QV em meio a outros conteúdos:

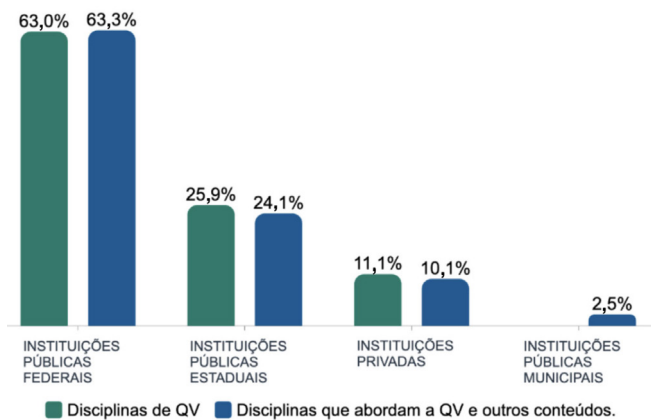


Figura 2. Distribuição das disciplinas de acordo com a categoria administrativa (fonte: elaboração dos autores a partir dos dados de pesquisa)

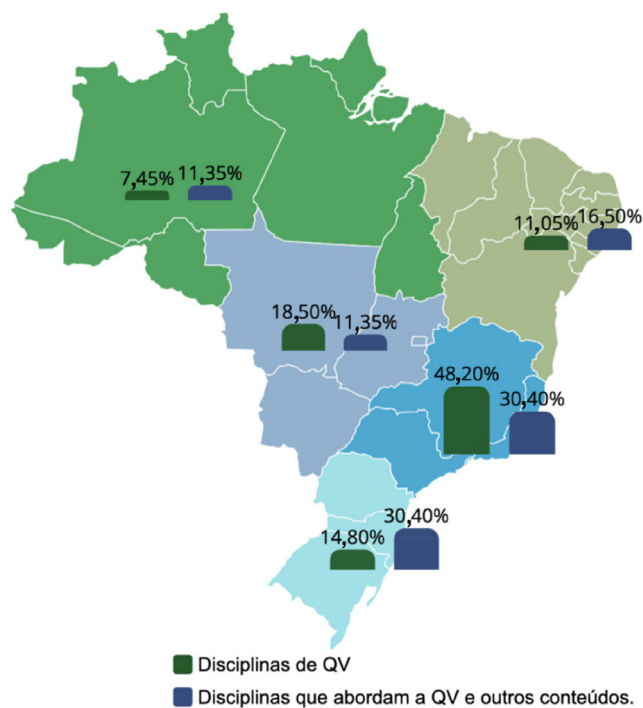


Figura 3. Distribuição das disciplinas de acordo com a região do país (fonte: elaboração dos autores a partir dos dados de pesquisa)

30,4% encontram-se na região Sul do país, 30,4% na região Sudeste, 16,5% na região Nordeste e 11,35% na região Centro-Oeste e também na região Norte.

Nota-se que, entre as cinco regiões brasileiras, as instituições localizadas no Sudeste são as mais engajadas em difundir os conceitos da QV para seus estudantes, enquanto as instituições no Norte do país dão menor relevância nesta área da química, observação esta que já havia sido percebida nas análises de Almeida *et al.*,²⁹ ao mapear a QV nos cursos de licenciatura em universidades públicas do país. Entretanto, deve-se considerar que essas observações estão diretamente relacionadas com o número de instituições de ensino existentes em cada uma das regiões brasileiras, estando sediadas na região Sudeste 43,5% das instituições com cursos de Química no país, 20,3% no Nordeste, 19,8% no Sul, 8,5% na região Norte e 7,9% na região Centro-Oeste. Deste modo, já era pressuposto que o Sudeste, sede de várias instituições de ensino superior consideradas referências em formar profissionais altamente capacitados, fosse a região com mais disciplinas voltadas para discutir os conceitos da QV.³⁶

No que diz respeito à obrigatoriedade ou não das disciplinas ofertadas (Figura 4), entre as 54 disciplinas que trabalham diretamente a QV: 64,8% são disciplinas optativas, enquanto que 20,4% são aplicadas como disciplinas obrigatórias e 14,8% não possuem esta informação disponível para acesso. Para as 79 disciplinas que trabalham aspectos da QV em meio a outros conteúdos: 68,4% são aplicadas de modo obrigatório, enquanto que 26,6% são disciplinas optativas e em 5% também não pôde-se encontrar esta informação.

O número de disciplinas obrigatórias de QV é bem menor do que o número de disciplinas obrigatórias que trabalham a QV em meio a outros conteúdos. Observação similar já havia sido feita por Gomes *et al.*,²⁸ e tem explicação no fato da QV ser trabalhada, na grande maioria das vezes, nos componentes curriculares relacionados à Química Ambiental, considerada obrigatória para o ensino segundo respaldos legislativos citados anteriormente.

É de extrema importância a presença de disciplinas de QV, ainda que seja em optativas, entretanto, observar que, aproximadamente, 65% são aplicadas nesta modalidade, reforça a ideia de que este conteúdo não é de fundamental relevância para a formação profissional de um químico, uma vez que fica a critério de cada aluno se deve ou não seguir por essa área.²⁹

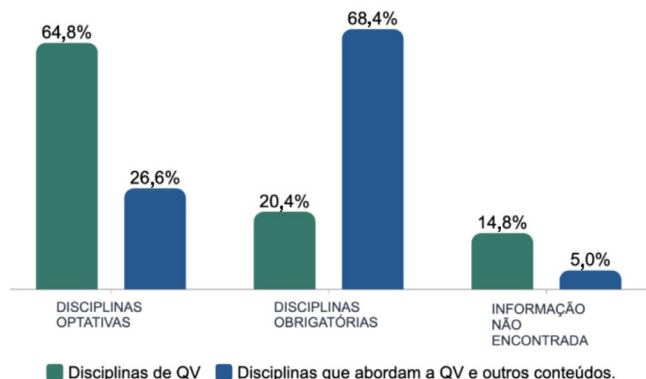


Figura 4. Distribuição das disciplinas de acordo com a obrigatoriedade ou não obrigatoriedade (fonte: elaboração dos autores a partir dos dados de pesquisa)

Analisando a maneira como a disciplina é ministrada, dos 54 componentes curriculares de QV, observa-se que 61,1% são aplicados de modo teórico, 7,4% teórico e experimental, 1,9% experimental, 14,8% foram classificadas como aparentemente teórico, pois, através da análise da ementa, dava-se a entender que a disciplina não possuía um direcionamento para atividades experimentais, enquanto que em 14,8% das disciplinas não obteve-se resposta para esta informação, pois nem mesmo a ementa permitiu chegar a uma conclusão sobre o modo como a disciplina é desenvolvida. Analisando as 79 disciplinas que trabalham os conceitos da QV em meio a outros, 43,0% são aplicadas exclusivamente de forma teórica, 19,0% de forma teórica e experimental, 7,6% exclusivamente experimental, 20,3% foram classificadas como aparentemente teórica, pelo mesmo motivo citado anteriormente, enquanto que em 10,1% também não obteve-se esta informação (Figura 5).

Apesar da Química ser uma ciência experimental, em que as atividades práticas podem, desde, aprimorar na compreensão de fenômenos até mesmo auxiliar na consolidação de conceitos³⁷ ainda é observado como as instituições, ao trabalhar a QV, possuem dificuldades de implementá-la em atividades que fujam de propostas, exclusivamente, teóricas.

Entre os 54 componentes curriculares de Química Verde, 17 são trabalhados em cursos de pós-graduação, 10 em cursos de licenciatura

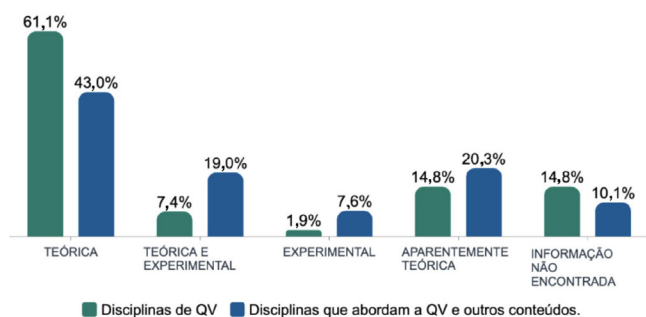


Figura 5. Distribuição das disciplinas em teórica ou experimental (fonte: elaboração dos autores a partir dos dados de pesquisa)

em Química, 7 em cursos de bacharelado em Química, 6 disciplinas em cursos de bacharelado e licenciatura em Química, 8 são aplicadas em outros cursos de bacharelado e licenciatura, 2 são aplicadas em diversos cursos, 3 são aplicadas em especialização ou qualificação e para 1 disciplina, não foi encontrada a informação sobre o curso em que é aplicada. Com relação as 79 disciplinas que trabalham os conceitos de QV em meio a outros, 12 disciplinas são trabalhadas em cursos de pós-graduação, 35 em cursos de licenciatura em Química, 13 em cursos de bacharelado em Química, 2 disciplinas em cursos de bacharelado e licenciatura em Química, 15 são aplicadas em outros cursos de bacharelado e licenciatura, 2 são aplicadas em diversos cursos (Figura 6).

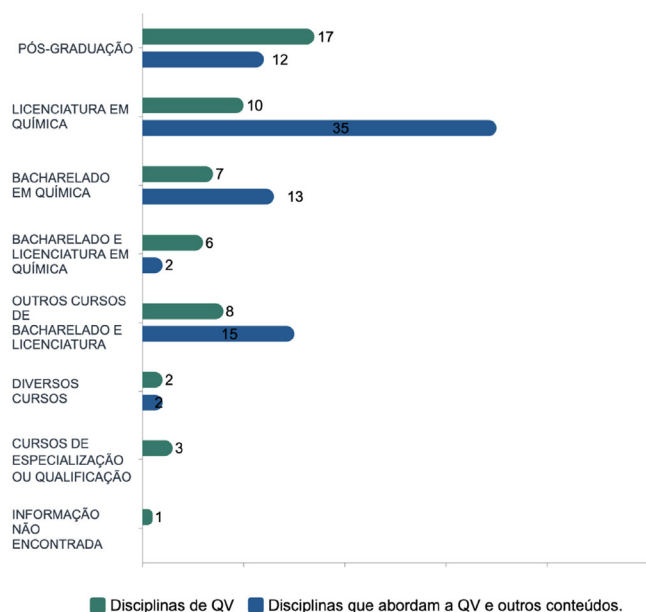


Figura 6. Distribuição das disciplinas de acordo com os cursos em que são aplicadas (fonte: elaboração dos autores a partir dos dados de pesquisa)

Percebe-se que as disciplinas sobre QV são uma realidade, principalmente, para alunos de cursos de pós-graduação e alunos de cursos de licenciatura, cenário extremamente relevante, pois é importante que os futuros professores e pesquisadores, encarregados de formar as novas gerações, dominem este conteúdo para torná-los objetos de suas práticas profissionais.³⁸ No que diz respeito aos cursos que aplicam disciplinas em que a QV aparece em meio a outros conteúdos, percebe-se que isso ocorre principalmente nos cursos de licenciatura e bacharelado em Química, novamente, por estar diretamente relacionada à Química Ambiental. Entretanto, ao considerar o elevado número de cursos de bacharelado em Química existentes em território nacional,³⁴ observa-se como é pequena a

importância dada à QV durante a formação dos profissionais que buscam atuar nos setores industriais.

Em meio aos cursos categorizados como “outros cursos de bacharelado e licenciatura”, constam formações em Engenharia Química, Engenharia Ambiental, Ciências Farmacêuticas, Ciência e Tecnologia, Biologia, Ciências da Natureza, entretanto, como foi muito pequeno o número de disciplinas de QV encontradas em todos, optou-se por agrupá-los.

Como já era esperado, se os cursos de Química não aplicam os conceitos de Química Verde de maneira significativa, as áreas correlatas demonstram ainda menor preocupação sobre esta temática. Desta forma, fica claro que a abordagem dos conceitos de QV ainda pertencem a uma “elite” do processo de ensino, não sendo um movimento adotado pela “massa” das instituições.³⁹

Análise das ementas das disciplinas

Ao analisar individualmente cada um dos componentes curriculares de QV, identificou-se que, a grande maioria possuam nomes parecidos e gerais como: “Fundamentos da Química Verde”, “Introdução à Química Verde”, “Química Verde” e “Tópicos em Química Verde”. A respeito da ementa destas disciplinas, percebe-se a preocupação imediata em definir a QV e discutir a base de seus conceitos, ou seja, os 12 princípios, visto que, a grande maioria trazia estes pontos como parte da proposta dos conteúdos, muito provavelmente, por se tratar de um tema inexplorado por muitos estudantes. Associar a QV às questões ambientais também é a preocupação de algumas propostas, que apresentam a importância da implantação de procedimentos limpos e práticas que propiciem a sustentabilidade.

Algumas disciplinas demonstram a relevância em trabalhar a QV associada ao processo de ensino-aprendizagem, propondo a possibilidade do estudante planejar, implementar e avaliar projetos relacionados à QV em contextos educativos. Em menor frequência, alguns componentes curriculares retratam, também, a importância da QV nos setores industriais, discutindo temas como o atual cenário para essa área de estudo e abordando algumas aplicações industriais de seus conceitos. Constatou-se ainda que algumas disciplinas de QV possuem propostas envolvendo outros conceitos necessários para formação de químicos, como o preparo de amostras para a Química Analítica e os estudos de reações orgânicas convencionais e processos alternativos para a síntese orgânica. Existem, ainda, propostas de disciplinas com conteúdos originais, quando comparados aos demais, que apresentam temas como: a emergência da QV em território nacional e o estudo de métricas para quantificar impactos ambientais. O trecho a seguir corresponde a ementa da disciplina, atualmente inativa, “Química Verde e Suas Tecnologias”, implementada em 2016, no curso de Química Industrial da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e evidencia como uma disciplina voltada para a QV se preocupou em apresentar e trabalhar o tema a partir de diferentes perspectivas.

1. Significado e importância da Química Verde e o desenvolvimento sustentável.
2. A emergência da Química Verde no Brasil.
3. A Química Verde no cenário industrial.
4. Processos e produtos tecnológicos emergentes na Química Verde.
5. Os óleos essenciais e sua contribuição para a Química Verde.
6. Os semioquímicos e sua contribuição para a Química Verde.
7. A Química Verde e a indústria dos microrganismos no controle de doenças em plantas.
8. Química Verde e suas aplicações na produção do biodiesel.
9. Química Verde e seus impactos na indústria da construção.
10. Química Verde no processo ensino-aprendizagem.
11. Seminários.⁴⁰

Verificando informações sobre os 79 componentes curriculares que citam a Química Verde como parte dos tópicos discutidos, observa-se a preferência geral em, apenas, apresentar o conceito de QV. Em menor quantidade estão as disciplinas que dão ênfase na discussão sobre os 12 princípios, e raramente encontram-se disciplinas que propõem a aplicabilidade dos conceitos da QV como parte dos conteúdos. Há ainda uma tendência em abordar alguns princípios preferencialmente aos demais, sendo, a prevenção de resíduos e o uso de catalisadores, os mais discutidos, seguidos pelo uso de solventes alternativos e síntese segura.

Percebe-se ainda que a QV aparece, em aproximadamente 50% das disciplinas que a citam, associada à Química Ambiental e a questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável e em raros casos, a QV é abordada nas disciplinas de Química Orgânica, discutindo conceitos relacionados a reações biocatalíticas, síntese e durante a parte experimental. Também em uma baixa frequência, a QV é discutida em disciplinas de Química Analítica, abordando técnicas verdes que possam ser empregadas. Na sequência tem-se a ementa da disciplina “Química Ambiental”, retirada do projeto pedagógico para o curso de Química da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), e pode ser utilizada para exemplificar como a QV é discutida na grande maioria das disciplinas que a citam em meio a outros conteúdos: de modo superficial e limítrofe às questões ambientais.

“Energia e Meio Ambiente. Química atmosférica. Química da água. Química de solos e sedimentos. Toxicologia ambiental. Amostragem de matrizes ambientais. Noções de gerenciamento de risco ambiental. Redução/prevenção da poluição e da contaminação, com destaque para química verde. Educação Ambiental, Direitos Humanos e Cidadania.”⁴¹

É de relevância mencionar o fato, já evidenciado por outros pesquisadores, como Hamidah *et al.*,⁴² de que a Química Ambiental e a Química Verde, muitas vezes são confundidas e trabalhadas como se abordassem, exatamente, o mesmo assunto. Ao analisar que os conceitos de QV, nas instituições de ensino brasileiras, são discutidos, principalmente, em disciplinas de Química Ambiental, observa-se mais uma vez essa problemática, demonstrando a visão distorcida sobre como a QV é entendida. Essa perspectiva reforça, novamente, a importância de incluir a QV no ensino de Química, para que esclareça de vez, quais são os aspectos discutidos por ela e como estes aspectos podem contribuir com os temas abordados em todas as outras áreas da química.²¹

Tanto o contexto produtivo quanto o de ensino-aprendizagem aparecem, ainda que raramente e de maneira superficial, como temas propostos em algumas disciplinas. As questões tecnológicas e industriais são abordadas em temas que debatem sobre processos catalíticos mais limpos e sobre as biorrefinarias e biocombustíveis. A análise e produção de materiais didáticos e a seleção e planejamento de experimentos, ambos na perspectiva da QV, são apostas que disciplinas de ensino fazem para incluir os conceitos desta área como parte de seus conteúdos.

Em linhas gerais, algumas instituições de ensino apontam, em seus projetos pedagógicos, pontos relevantes sobre o modo como os conceitos da QV podem ser difundidos, incluindo sugestões de disciplinas para associá-la, discussões sobre a importância de torná-la presente nos cursos de licenciatura e relacioná-la a contextos sócio-político-culturais. O fragmento a seguir, retirado do projeto pedagógico do curso de licenciatura em Química da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), ressalta as perspectivas citadas anteriormente.

“[...] Há evidente possibilidade de se incorporar a partir do ensino e da pesquisa, elementos da proposta de Química Verde [...] Assim, a principal intenção é de, por meio do conceito da auto sustentabilidade, difundir uma ideia ética e politicamente importante para o desenvolvimento humano, reforçando a possibilidade de substituição de produtos e processos que possam afetar a qualidade de vida da humanidade. Em síntese, é possível e relevante valorizar o desenvolvimento de uma Química que esteja sempre comprometida com o bem-estar e a sustentabilidade.”⁴³

Entretanto, mais frequente do que o ideal, existem projetos pedagógicos que citam o valor da QV para a formação dos estudantes, porém, durante o levantamento de dados, não foi encontrado, nessas instituições, nenhuma disciplina que abordasse, ainda que de maneira superficial, os conceitos atribuídos a esse tema. Há ainda, uma pequena parte de instituições que, apesar de não trabalharem a QV em disciplinas, possuem outras formas de promover os princípios desta área, como grupos de QV e projetos de pesquisa.

Limites do levantamento de dados

Existem alguns pontos que precisam ser considerados sobre os limites deste levantamento de dados, como por exemplo, o fato de terem sido utilizadas palavras chaves, já citadas anteriormente, para encontrar as disciplinas relacionadas à QV, uma vez que, conceitos relacionados a área e trabalhados por instituições que não utilizam esses termos em seus sites, podem ter sido desconsideradas pela impossibilidade de retornar resultados durante as buscas.

Ademais, basta analisar a porcentagem de instituições de ensino que deixaram lacunas em relação às informações encontradas para perceber que, boa parte das instituições, principalmente as privadas, apresentam os seus sites desatualizados e não disponibilizam alguns documentos para acesso público em suas plataformas digitais. Outro ponto a se questionar neste levantamento se deve ao fato de algumas instituições brasileiras com curso de Química, obtidas na plataforma do e-MEC, quando analisadas diretamente em seus sites, não possuíam o curso de Química.

Portanto, incongruências neste estudo podem ser geradas, devido a contradições entre o que está disponível na plataforma do e-MEC e nos sites das instituições de ensino. Entretanto, é importante reforçar que, embora o aprofundamento e a consulta às coordenações dos cursos e docentes que atuam com a temática sejam cruciais para uma compreensão mais aprofundada da realidade da Química Verde nas instituições, esse aspecto não foi abordado no escopo deste trabalho. O objetivo principal desta pesquisa é fornecer uma visão geral com base na análise documental dos arquivos publicados pelas Instituições de Ensino Superior encontrados via pesquisas em sites de buscas e sites das instituições de ensino e, portanto, informações desencontradas, sites desatualizados e páginas incompletas representam limitações que fogem do controle do estudo realizado. Uma investigação mais detalhada, envolvendo a interação direta com as coordenações e os docentes que ministram as disciplinas, poderia ser conduzida em futuros estudos para aprofundar o conhecimento sobre o panorama brasileiro em relação a essa temática.

Reflexões sobre o levantamento

Na atualidade, pode-se considerar que a Química ainda é trabalhada, em todos os níveis de ensino, quase sempre de forma tecnicista, tradicional e, praticamente, teórica, atribuindo pouca importância para que o aluno pense em temas que são realmente relevantes para o seu cotidiano e que o aproximem do material que

está sendo estudado.⁴⁴ A QV sofre com esse cenário e encontra resistência em ser abordada inclusive por profissionais da academia, que possuem uma visão distorcida e a consideram como limitadora e desfavorável à inovação, quando na verdade, é uma área que permite, justamente, o oposto pois é composta por novas demandas e evidencia a possibilidade de novos negócios e novos processos.

A pouca inserção da QV em currículos pode ser resultado de diferentes questões, dentre as quais a formação profissional em cursos de graduação. Desta forma, acredita-se que, se as novas gerações forem devidamente informadas sobre os preceitos da QV, essa propensão tende a sofrer alterações. Todavia, não basta apenas incluir a QV no ensino, pois, para o efetivo sucesso, depende muito mais da forma como será inserida e na abordagem didática utilizada para trabalhá-la. A implementação de debates sobre este tema, com discussões que permeiam questões sociais, políticas e éticas, podem e devem ser realizadas,²² pois, restringir-se apenas a conceitos distantes da realidade, da sociedade e dos problemas presentes na atualidade, caracteriza uma abordagem que culmina no afastamento entre alunos e o que a química pode representar para resolução destes problemas, fragilizando o processo de ensino-aprendizagem.⁴⁵

É pauta de discussões a maneira como agregar a QV nos currículos universitários. Acredita-se que a implementação de seus conceitos em uma única disciplina fragmenta ainda mais o processo de ensino-aprendizagem e não permite usufruir do devido valor da área.²⁸ O projeto pedagógico do curso de licenciatura de Química da UFOB reforça a ideia de que é possível incorporar “[...] elementos da proposta de Química Verde, sem que para isto se tenha que reduzi-la à proposição de uma disciplina ou algo similar [...]”.⁴³ Entretanto, deve-se considerar que, para os princípios da Química Verde permearem, além de diferentes disciplinas, diferentes setores da sociedade, é necessário que a mentalidade “verde” seja instaurada e, desta forma, é necessário, em um primeiro momento, que os sujeitos conheçam sobre o tema. Isto pode ser obtido, no meio acadêmico, com disciplinas direcionadas para a QV, pois assim, os conceitos relativos à área poderão ser incorporadas em meio às práticas discentes e docentes.

Se por um lado é preferível que durante todo o curso se insira conceitos de QV relacionados a outras disciplinas, por outro discute-se a preferência de existir apenas uma disciplina que aborde diretamente a QV, fato é que, para a grande maioria das instituições de ensino brasileiras, principalmente as privadas, nenhuma das duas possibilidades vêm ocorrendo.

Independente da maneira como serão aplicados, também é importante considerar implementações alternativas para que os conceitos de QV ganhem espaço em território nacional. A Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior (Andifes) lançou o Programa de Mobilidade Virtual em Rede de Instituições Federais de Ensino Superior (Promover Andifes). Através deste programa, os estudantes podem se inscrever em vagas de disciplinas ofertadas em 12 universidades brasileiras, e uma dessas instituições possui uma disciplina que aborda conceitos da QV.⁴⁶ Esta é uma alternativa para aumentar o número de estudantes que têm acesso a essa área.

Análise comparativa: a QV em seu berço e no Brasil

Considerando um cenário mais amplo, nota-se que universidades americanas apresentam a implementação dos preceitos da QV em seus cursos de forma mais intensa. Observa-se tal fato devido à análise do número de instituições de ensino americanas que possuem professores signatários do *Green Chemistry Commitment* (GCC), originado pela organização *Beyond Benign - Green Chemistry Education*, que busca estimular e capacitar universidades a adotar os preceitos da QV em seus cursos de química.⁴⁷ O objetivo do GCC é unificar os esforços

de profissionais de Química Verde que procuram por transformações em suas próprias instituições de ensino, e deste modo, transformações nos tradicionais métodos de ensino da Química, incorporando conceitos da QV durante a formação dos seus estudantes que, conseqüentemente, passarão a adotá-los nos setores industriais aos quais forem designados para trabalhar.⁴⁸

Atualmente, professores de 105 instituições de ensino ao redor do mundo fazem parte do GCC, e destas, mais de 50% estão localizadas nos Estados Unidos. No Brasil, professores representantes de 6 instituições de ensino assinaram o GCC. Em 2019, o Instituto de Química da UNESP se tornou a primeira instituição de ensino superior brasileira a fazer parte, seguida pela Universidade de Brasília (UNB) em 2021, na sequência a Universidade Federal de Pelotas (UFPel), também em 2021, a Universidade Federal de Goiás (UFG) em 2022, e a última a entrar para a lista foi o Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), no segundo semestre de 2022.⁴⁷ A organização *Beyond Benign* proporciona ainda, uma grande variedade de materiais e cursos sobre QV, destinados para diferentes faixas etárias, permitindo que o tema seja introduzido desde os anos iniciais do processo de ensino, até mesmo com os profissionais já formados em química, porém, que nunca tiveram contato com esta área.⁴⁷

Algumas instituições americanas encontraram na Química Verde temas para formação de profissionais, como o programa de pós-graduação oferecido pela Universidade de Massachusetts Boston (UMass Boston), primeiro a ser reconhecido mundialmente nesta área e cuja formação permite aos alunos desenvolver atividades em diferentes setores da sociedade,⁴⁹ e o mestrado da Chatham University, cuja proposta é a QV focada em habilidades empreendedoras. Outras instituições contribuem para a difusão da QV de diferentes modos, com cursos, guias laboratoriais, *workshops*, entre outras propostas. Um exemplo de *workshop* nesta área, ocorreu em 2015, e estabeleceu um Roteiro de Educação em Química Verde e um conjunto de competências essenciais sobre o tema, para todos os bacharéis em Química e Engenharia Química.⁵⁰

A adoção dos preceitos da QV por setores industriais americanos já rendeu produções bem sucedidas, com a redução de custos ambientais, além do aumento nas vendas e faturamento. Um exemplo compreende a colaboração entre a Codexis Inc. e o Professor Yi Tang da Universidade da Califórnia. A parceria resultou na fabricação da sinvastatina através de processos biocatalíticos, utilizando uma enzima modificada e um produto natural. Esta pequena amostra de sucesso evidencia a importância da QV não apenas do ponto de vista ambiental, mas também pode ser analisada a partir do ponto de vista econômico.⁵⁰

Entretanto nos EUA também existem relatos de problemas que dificultam em uma ainda maior implementação da QV, alguns, inclusive, muito parecidos com problemas enfrentados em território nacional, como: falta de uniformidade de demanda por parte das indústrias; o conservadorismo acadêmico com relação a adequação dos currículos vigentes e o baixo número de profissionais com experiência sobre o tema ou dispostos a se desafiar sobre estes novos horizontes.⁵⁰

No Brasil, o baixo respaldo legislativo dado a esta área, também é uma problemática. Uma análise das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para cursos de bacharelado e licenciatura em Química, permite inferir que estas se constituem em um documento generalista, não sendo compostas por norteadores específicos que corroborem com a aplicabilidade da QV. Publicadas há mais de 20 anos, possuem demandas atuais, uma vez que, muitas, até hoje não são adotadas efetivamente pelas instituições de ensino. Logo, é um documento que clama por mudanças nos currículos das instituições de ensino ao pedir que sejam incluídos temas que permitam a reflexão sobre questões éticas, ligadas ao caráter, a solidariedade, a cidadania

e a responsabilidade social, de modo contínuo a fim de formar profissionais e cidadãos mais engajados.⁵¹ Sob esta perspectiva, pode-se considerar que a QV possui os conceitos essenciais para serem trabalhados, uma vez que não se atém, apenas, às questões científicas, mas transcende a outras disciplinas e outros setores da sociedade.³⁹

Em suma, percebe-se que as DCNs, em sua essência, buscam realizar um trabalho necessário em relação à forma como os cursos de química são estruturados no país. No entanto, a abordagem abrangente na apresentação das demandas tanto possibilita a implementação efetiva da QV quanto dificulta, uma vez que permite interpretações divergentes por parte das instituições de ensino, sem priorizar temas de considerável relevância, conforme demonstrado pelo levantamento.

Os problemas referentes à inefetiva abordagem da Química Verde no Brasil devem-se, ainda, à falta de desenvolvimento adequado no âmbito nacional desde o surgimento desta área no final do século XX, apesar das inúmeras discussões acerca das questões ambientais na época. No ano de 2000, a indústria química brasileira registrou um faturamento de 42,6 bilhões de dólares e destacou-se como o segundo maior consumidor de eletricidade entre os setores industriais, totalizando aproximadamente 14,5 milhões de megawatts/hora.⁹ Além disso, tanto o setor agro quanto o farmacêutico apresentavam produções que envolviam um grande número de etapas, resultando em uma quantidade significativa de resíduos gerados.¹² Considerando essas perspectivas, autores brasileiros na época enfatizaram a evidente necessidade de avanços tecnológicos e a implementação de alterações nos processos de produção.^{11,12} No entanto, passados dez anos desde o surgimento dessa área, Lenardão *et al.*¹⁰ observam que havia pouca discussão sobre o tema e a ausência de políticas que incentivassem o progresso da Química Verde no Brasil. Na época, o avanço alcançado nesse campo era resultado do apoio fornecido por agências de fomento e das atividades desenvolvidas em programas específicos de algumas instituições de ensino e pesquisa.

Mais de vinte anos após o surgimento da Química Verde, uma análise da produção bibliográfica mundial conduzida por Sousa-Aguiar *et al.*¹⁴ revelou que, entre os periódicos que mais publicaram sobre o assunto, o Brasil contava apenas com um periódico, ocupando a 17ª posição, com aproximadamente 50 publicações na área. Em contraste, os Estados Unidos possuíam sete periódicos, totalizando mais de 750 publicações, enquanto o Reino Unido contava com seis periódicos e mais de 700 publicações. Mesmo após anos desde seu início, países como EUA e Reino Unido, pioneiros na disseminação dos conceitos da Química Verde, ainda mantinham a liderança no tema.

Apesar do cenário para a Química Verde no Brasil não ser o almejado, é importante destacar algumas iniciativas que têm buscado impulsionar essa área no país. Uma delas foi a publicação do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE),⁵² um amplo estudo sobre temas relacionados à Química Verde que possui como objetivo promover uma abordagem inovadora e competitiva na indústria nacional por meio da implementação de processos químicos verdes. Para viabilizar esse objetivo, a publicação propôs a criação da Rede Brasileira de Química Verde, a partir da junção do conhecimento e das competências existentes nas empresas, centros de pesquisas e universidades. De maneira adicional, foi proposta a criação da Escola Brasileira em Química Verde (EBQV). A EBQV foi estabelecida em 2010, tendo sua sede na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e possui como objetivo acompanhar as tecnologias mais avançadas, buscando atualizar as grades curriculares e promover o desenvolvimento de processos e produtos sustentáveis que atendam à demanda da indústria nacional.

Outras iniciativas que merecem destaque são as Escolas de Verão com foco em Química Verde realizadas em anos anteriores pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), e pela Universidade de

São Paulo (USP).⁵³ Esses programas educacionais têm como objetivo fornecer aos participantes conhecimentos teóricos e práticos sobre os conceitos e metodologias da Química Verde, buscando promover a adoção de práticas mais sustentáveis na área da química.

Adicionalmente, é importante mencionar o trabalho desenvolvido pela UFPel, que conseguiu promover a disseminação da Química Verde por meio da integração entre ensino, pesquisa e extensão, incorporando-a de modo transversal em outros componentes curriculares.⁵⁴ A universidade criou em 2002 um projeto de extensão que consiste em uma *webpage*, na qual os estudantes de graduação participam atualizando-a com as últimas notícias relacionadas à Química Verde. Além disso, a instituição abriga ainda o grupo de pesquisa LASOL (Laboratório de Síntese Orgânica Limpa), que está entre os pioneiros no Brasil quando se trata da aplicação dos princípios da Química Verde na síntese orgânica. Ademais, a UFPel, iniciou a introdução da Química Verde em sua grade curricular em 2004 como uma eletiva e, desde então, o tema é abordado como uma disciplina, estando, na atualidade, entre aquelas consideradas obrigatórias para formação nos cursos Química Industrial, bacharelado e licenciatura.⁵⁴

Destaca-se, por último, o ACS UFRJ *Student Chapter*, oficialmente filiado à *American Chemical Society* (ACS). Trata-se de um grupo de extensão formado por estudantes de graduação e pós-graduação da UFRJ, dedicado ao avanço e à conscientização sobre a importância da Química Verde para a sociedade. Seu objetivo principal é interagir com empresas, startups e indústrias químicas por meio de debates, dinâmicas e divulgação de processos verdes.⁵⁵

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A QV é uma área de extrema importância para diversos setores, incluindo o industrial, e algumas instituições estão começando a preparar profissionais voltados para esta área, propondo disciplinas voltadas para a aplicação dos preceitos nas indústrias, enquanto outras, se preocupam em colocar os “futuros professores” a par dos conceitos da QV, inclusive, com propostas de preparação de materiais didáticos relacionados à área. Entretanto, sendo o Brasil um país de proporções continentais, quando compara-se o número de instituições que realizam essas atividades com a quantidade total de instituições de ensino existentes com cursos de química, pode-se considerar que a introdução da QV nos cursos de química brasileiros, apesar de estar em um cenário melhor do que o retratado em trabalhos anteriores, como o de Almeida *et al.*²⁹ e Gomes *et al.*,²⁸ ainda é algo incipiente.

As instituições privadas são as mais resistentes em atualizar os seus currículos e abordar demandas atuais, pois, apenas 5%, aproximadamente, de todas as instituições privadas do país com cursos de química trabalham a QV, enquanto que, mais de 50% das instituições públicas existentes no Brasil discutem os preceitos de QV de alguma forma. Deve-se considerar ainda que, boa parte das instituições de ensino, principalmente as privadas, apresentaram sites desatualizados, com os projetos pedagógicos ou matrizes curriculares de seus cursos indisponíveis para acesso *on-line*, impedindo que informações fossem verificadas.

Apesar de existir um direcionamento para que ocorra a reformulação nos currículos institucionais, não existe nenhum respaldo específico sobre a importância do ensino de Química Verde. As Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de química constituem um documento que corrobora com sua aplicabilidade, entretanto, depende da maneira como as instituições de ensino interpretam este documento, da maneira como os projetos pedagógicos são construídos e do engajamento dos professores que ministram as disciplinas.

Como já debatido anteriormente, ainda que não seja nas devidas proporções, a QV é uma área que está crescendo e a tendência

é que, com a sua efetiva implementação durante o processo formativo, ganhe ainda mais espaço, pois proporciona inúmeros benefícios, como: a redução de impactos ambientais ao promover o uso de métodos e processos mais limpos e sustentáveis; os estímulos à inovação e ao desenvolvimento de novas tecnologias em produtos e processos que atendam a esta demanda; debates de questões políticas e sociais uma vez que é uma área que transcende barreiras disciplinares; melhorias referentes às questões de saúde, principalmente de trabalhadores expostos diariamente a produtos ou processos considerados nocivos.

Com a inserção da QV em cursos de graduação, infere-se um crescimento cada vez maior para a área, à medida que irá aumentar o número de novos profissionais com conhecimento e engajados sobre o tema. Ademais, esta poderá ser uma das formas de acabar com o ceticismo ainda encontrado em profissionais da academia que, aparentemente, se negam a aceitar os benefícios proporcionados pela Química Verde. Em contrapartida, se as instituições de ensino continuarem mostrando relutância em atender a essa demanda ao não trabalhá-la em seus cursos, todos os benefícios discutidos anteriormente demorarão ainda mais para serem alcançados e a implementação da área será estagnada ou terá um crescimento muito pouco significativo.

Historicamente, a formação dos profissionais da área química sempre visou a excelência técnica.⁵ No entanto, na atualidade, é fundamental manter essa qualidade técnica do ensino, mas priorizar a capacitação de profissionais capazes de trabalhar em conjunto para enfrentar os desafios e solucionar os problemas da sociedade contemporânea.⁵⁴ Para alcançar essa meta, é essencial incorporar a Química Verde no currículo de formação dos futuros profissionais da área química, por meio de atividades que cultivem o pensamento crítico.⁵⁶ Dessa forma, seria possível fomentar a disseminação da Química Verde e evidenciar as oportunidades de integração com outras áreas da química. Segundo Lenardão *et al.*¹⁰ “um profissional formado dentro dos princípios da química verde estará muito mais preparado para o desafio que a indústria e o meio acadêmico passaram a impor”.

Ao analisar as iniciativas encontradas no território nacional, percebe-se que ao longo dos anos tem havido, embora em pequena escala, mudanças no cenário da Química Verde no Brasil. No entanto, com base nos resultados deste levantamento, fica evidente que ainda há um longo caminho a percorrer para a incorporação da Química Verde à maioria dos currículos de formação de professores e profissionais de química no país.

A partir dos dados obtidos, enfatiza-se três pontos de anseios que requerem uma análise ainda mais detalhada. O primeiro se refere ao modo como a QV pode ser inserida nas grades curriculares, pois, segundo John Warner,⁴⁷ “o objetivo da Química Verde é que o termo desapareça e simplesmente se torne como praticamos a química” (tradução nossa). Desta forma, considera-se mais efetivo empregá-la em meio a outros conteúdos mais tradicionais, entretanto, com a inserção de uma disciplina específica tem-se a possibilidade de aumentar a visibilidade para o tema e minimizar o boicote promovido por muitos acadêmicos que se negam a aceitar a importância dessa área. Devido a dúvida perspectiva, considera-se relevante um estudo específico e capaz de nortear o melhor cenário para a efetiva implementação do tema.

Ao inserir conceitos de Química Verde, tem-se a possibilidade de trabalhar não apenas de modo interdisciplinar, mas, também, transdisciplinar.⁵⁷ Tal fato envolve também uma mudança na estrutura didática de trabalho com os conteúdos, uma vez que a apresentação de conceitos por si só não corrobora com tais perspectivas de ensino e aprendizagem. Tal aspecto é também apontado como uma das dificuldades de inserção de tópicos da QV

de forma crítica.⁵⁸ Logo, possuir disciplinas de QV ou citar a área em partes da ementa de outras disciplinas não é sinônimo de sua efetiva implementação. A partir desta perspectiva, o segundo ponto se refere a necessidade de uma análise mais específica sobre o modo como a QV é trabalhada nas disciplinas encontradas, considerando as metodologias utilizadas para a aula, qual é o foco dado para o tema e inclusive, se os docentes que a ministram e os que fazem parte de todo o corpo docente dessa instituição possuem conhecimento significativo sobre a área.

Por fim, o terceiro ponto de anseio está na falta de dados a partir da perspectiva dos alunos que frequentaram essas disciplinas. Entende-se que é necessário um estudo detalhado a partir da perspectiva dos discentes, com a finalidade de verificar se a disciplina foi capaz de cumprir com os seus objetivos e disseminar os conceitos da QV.

Infere-se que uma análise aprofundada sobre o modo como a Química Verde é abordada, em cada instituição de ensino, a partir da perspectiva de todo o corpo acadêmico, será capaz de direcioná-la para qual o melhor cenário para a sua verdadeira implementação.

Em suma, como defende Pitanga²³ “[...] a educação em QV surge com bastante força, por defender uma mudança imediata nos currículos universitários defasados e que não conseguem atender às necessidades formativas mais atuais”. Entretanto, os processos de mudanças não são fáceis e muito menos acontecem de maneira repentina. É preciso empenho, esforço e persistência, além de constantes discussões sobre formas de ensino que permitam uma abordagem crítica do assunto. Acreditar que, de uma hora para outra, todos passarão a adotar a Química Verde como forma de ensino e discussões de questões em diversas áreas é de extrema pretensão. Porém, só será possível que esta mudança se processe aos poucos se o estopim para o início for dado.⁶

REFERÊNCIAS

1. Worldometers, <https://www.worldometers.info/world-population/>, acessado em Outubro 2023.
2. Missiaggia, R. R.: *Gestão de Resíduos Sólidos Industriais*; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2002. [Link] acessado em Outubro 2023
3. Aguiar, G. O.; Souza, P. R. H.; Soares, R. M.; Cordeiro, Y. M.; Franco, C. S. S.; *Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana* **2020**, *20*, 41. [Link] acessado em Outubro 2023
4. Aftalion, F.; *A History of the International Chemical Industry*, 2nd ed.; Chemical Heritage Foundation: Philadelphia, 2001.
5. Farias, L. A.; Fávaro, D. L. T.; *Quim. Nova* **2011**, *34*, 1089. [Crossref]
6. Machado, A. A. S. C.; *Quim. Nova* **2011**, *34*, 535. [Crossref]
7. Marco, B. A.; Rechelo, B. S.; Tótolli, E. G.; Kogawa, A. C.; Salgado, H. R. N.; *Saudi Pharm. J.* **2019**, *27*, 1. [Crossref]
8. Pott, C. M.; Estrela, C. C.; *Estudos Avançados* **2017**, *31*, 271. [Crossref]
9. Sanseverino, A. M.; *Ciência Hoje* **2002**, *31*, 20. [Link] acessado em Outubro 2023
10. Lenardão, E. J.; Freitag, R. A.; Dabdoub, M. J.; Batista, A. C. J.; Silveira, C. C.; *Quim. Nova* **2003**, *26*, 123. [Crossref]
11. Dupont, J.; *Quim. Nova* **2000**, *23*, 825. [Crossref]
12. Sanseverino, A. M.; *Quim. Nova* **2000**, *23*, 102. [Crossref]
13. ACS, <https://www.acs.org/greenchemistry/what-is-green-chemistry/history-of-green-chemistry.html>, acessado em Outubro 2023.
14. Sousa-Aguiar, E. F.; Almeida, J. M. A. R.; Romano, P. N.; Fernandes, R. P.; Carvalho, Y.; *Quim. Nova* **2014**, *37*, 1257. [Crossref]
15. Oliveira, M.; *Pesquisa FAPESP* **2017**, *260*, 72. [Link] acessado em Outubro 2023
16. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), <https://iupac.org/who-we-are/committees/sustainable-chemistry/>, acessado em Outubro 2023.

17. Gomes, R. N.; Lima, P. S.; Kuriyama, S. N.; Fidalgo Neto, A. A.; *Rev. Fitos* **2018**, *12*, 80. [Link] acessado em Outubro 2023
18. Prado, A. G. S.; *Quim. Nova* **2003**, *26*, 738. [Crossref]
19. Eilks, I.; Sjostrom, J.; Zuin, V. G.; *Rev. Bras. Ensino Quim.* **2017**, *12*, 98. [Link] acessado em Outubro 2023
20. Kitchens, C.; Naistat, D.; Farrugia, J.; Clarens, A.; O'Neil, A.; Lisowski, C.; Braun, B.; *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 1126. [Crossref]
21. Goes, L. F.; Leal, S. H.; Cono, P.; Fernandez, C.; *Educ. Quim.* **2013**, *24*, 113. [Crossref]
22. Susdorf, A. K.; Zwierzdzyński, M.; Bevanda, A. M.; Talić, S.; Ivanković, A.; Wasylka, J. P.; *TrAC, Trends Anal. Chem.* **2019**, *111*, 185. [Crossref]
23. Pitanga, A. F.; *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* **2016**, *18*, 141. [Crossref]
24. Andrade, R. S.; Zuin, V. G.; *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **2021**, *21*, 1. [Crossref]
25. Presidência da República Casa Civil; Lei No. 9.795, de 27 de abril de 1999, *Dispõe sobre a Educação Ambiental*; Diário Oficial da União (DOU), Brasília, Brasil, 1999. [Link] acessado em Outubro 2023
26. Lino, M. F. S.; Sá, M. V. S.; Silva, C. M.; *Anais do 6º Congresso Nacional de Educação*, Campina Grande, Brasil, 2019. [Link] acessado em Outubro 2023
27. Ministério da Educação Conselho Nacional de Educação Conselho Pleno, Resolução No. 2, de 15 de junho de 2012, *Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental*; Diário Oficial da União (DOU), Brasília, Brasil, 2012. [Link] acessado em Outubro 2023.
28. Gomes, L. S.; Andrade, J. R.; Leal, A. B. A.; Nunes, R. C.; *Revista Ambiente & Educação* **2022**, *27*, 1. [Crossref]
29. Almeida, Q. A. R.; Silva, B. B.; Silva, G. A. L.; Gomes, S. S.; Gomes, T. N. C.; *Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas* **2019**, *15*, 34. [Crossref]
30. International Year of Basic Sciences for Sustainable Development, <https://www.iybssd2022.org/en/home/>, acessado em Outubro 2023.
31. Lüdke, M.; André, M. E. D. A.; *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*, 1ª ed.; EPU: São Paulo, 1986.
32. Gil, A. C.; *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*, 5ª ed.; Atlas: São Paulo, 2010.
33. Yin, R. K.; *Estudo de Caso - Planejamento e Métodos*, 2ª ed.; Bookman: Porto Alegre, 2001, p. 109.
34. e-MEC, <https://emec.mec.gov.br/emec/nova>, acessado em Outubro 2023.
35. Creswell, J. W.; *Educational Research: Planning, Conducting and Evaluating Quantitative and Qualitative Research*, 4th ed.; Pearson Education: Boston, 2012.
36. Francisco, C. A.; Queiroz, S. L.; *Quim. Nova* **2008**, *31*, 2100. [Crossref]
37. Gonçalves, R. P. N.; Goi, M. E. J.; *Revista Debates em Ensino de Química* **2022**, *8*, 31. [Crossref]
38. Summerton, L.; Hunt, A. J.; Clark, J. H.; *Educ. Quim.* **2013**, *24*, 150. [Crossref]
39. Woodhouse, E. J.; Breyman, S.; *Science, Technology, & Human Values* **2005**, *30*, 199. [Crossref]
40. Universidade Federal do Maranhão, <https://sigaa.ufma.br/sigaa/public/departamento/componentes.jsf;jsessionid=1CC17270F0B2ABD860DF75B9ED1C104F.sigaa-0>, acessado em Outubro 2023.
41. Universidade Federal de São Paulo, *Projeto Pedagógico do Curso de Graduação - Química*, Diadema, 2015. [Link] acessado em Outubro 2023
42. Hamidah, N.; Prabawati, S. Y.; Fajriati, I.; Eilks, Y.; *IJPC Journal of Physics and Chemistry Education* **2017**, *9*, 1. [Link] acessado em Outubro 2023
43. Universidade Federal do Oeste da Bahia, *Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Química*, Barreiras, 2023. [Link] acessado em Outubro 2023
44. Moreira, A. M.; Aires, J. A.; Lorenzetti, L.; *ACTIO: Docência em Ciências* **2017**, *2*, 193. [Crossref]
45. Fernandes, F. L. A.; Paula, N. L. M.; Amorim, C. M. F. G.; Milhome, M. A. L.; *Eclética Quim. J.* **2016**, *41*, 66. [Crossref]
46. Andifes, <https://www.andifes.org.br/?p=90415>, acessado em Outubro 2023.
47. Beyond Benign, <https://www.beyondbenign.org/>, acessado em Outubro 2023.
48. Cannon, A. S.; Levy, A. J.; *ACS Symp. Ser.* **2015**, *1193*, 115. [Crossref]
49. UMass Boston, https://www.umb.edu/greenchemistry/about_us, acessado em Outubro 2023.
50. Marteel-Parrish, A.; Newcity, K. A.; *Johnson Matthey Technol. Rev.* **2017**, *61*, 207. [Crossref]
51. Ministério da Educação Conselho Nacional de Educação, *Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química*; Diário Oficial da União (DOU), Brasília, Brasil, 2001. [Link] acessado em Outubro 2023
52. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; *Química Verde no Brasil 2010 - 2030*, edição revisada e atualizada; CGEE: Brasília, 2010. [Link] acessado em Outubro 2023
53. Martins, F.; Amaral, C. L. C.; *Pesquisa em Educação Ambiental* **2015**, *10*, 36. [Crossref]
54. Jacob, R. G.; Silva, M. S.; Hartwig, D.; Lenardão, E. J.; *Quim. Nova Esc.* **2022**, *44*, 173. [Crossref]
55. Furtado, S.; Eudes, R.; *Caderno de Química Verde* **2020**, *18*, 24-5. [Link] acessado em Outubro 2023
56. Domingues, L. A.; Magalhães, C. G.; Sandri, M. C. M.; *Quim. Nova Esc.* **2022**, *44*, 104. [Crossref]
57. Gomes, L. C. A.; Messeder, J.; *ABQ - Associação Brasileira de Química*, Manaus, Brasil, 2016. [Link] acessado em Outubro 2023
58. Araújo, U. F.; Arantes, V.; Pinheiro, V.; *Projetos de Vida: Fundamentos Psicológicos, Éticos e Práticas Educacionais*, 1ª ed.; Summus: São Paulo, 2020.