



Educação Química Ambiental das raízes às folhas: um levantamento bibliográfico utilizando a Árvore da Ciência

Environmental Chemistry Education from roots to leaves: a bibliographic survey using the Tree of Science

Carlos Sérgio Leonardo Júnior

Universidade Estadual Paulista (UNESP)
cseleonardojunior@gmail.com

Carlos Henrique Aparecido Alves Moris

Universidade Estadual Paulista (UNESP)
carlos.moris@unesp.br

Rafaela Valero

Universidade Estadual Paulista (UNESP)
rafavalero16@gmail.com

Resumo

A preservação da natureza é uma pauta presente na área da educação e ensino de química. Nesse contexto, realizamos um levantamento bibliográfico internacional sobre a Educação Química Ambiental, utilizando uma ferramenta estatística, a Árvore da Ciência. A ferramenta identifica as principais publicações baseada na análise de referências bibliográficas. A partir de 323 artigos, obtivemos uma árvore com 20 trabalhos na raiz, 20 trabalhos no tronco e 42 trabalhos nas folhas. A análise desses trabalhos permitiu sua classificação em três categorias: “implementação da Química Ambiental”; “concepções e fundamentos da Química Ambiental”; “experimentos adequados à Química Ambiental”. Concluímos que a maioria dos trabalhos focam nas aplicações da Química Ambiental e da Química Verde, buscando a implementação desses princípios na sala de aula ou em experimentos pensados a partir dos seus princípios. Tal tendência pode ser reflexo da influência da indústria química nas pesquisas sobre Educação Química Ambiental.

Palavras-chave: educação ambiental, química verde, levantamento bibliográfico, árvore da ciência.

Abstract

The preservation of nature is an agenda within the field of education and chemistry teaching. In this context, we conducted an international bibliographic survey on Environmental Chemistry Education, using a statistical tool called the Science Tree. The tool identifies the main publications based on the analysis of bibliographic references. From 323 articles, we obtained a tree with 20 works at the root, 20 articles in the trunk, and 42 articles in the leaves. The analysis of these works allowed their classification into three categories: “implementation of Environmental Chemistry”,



“conceptions and foundations of Environmental Chemistry”, and “experiments suitable for Environmental Chemistry”. We concluded that the majority of the works focus on the applications of Environmental Chemistry and Green Chemistry, seeking the implementation of these principles in the classroom or in experiments designed based on these principles. This trend may reflect the influence of the chemical industry on research regarding Environmental Chemistry Education.

Keywords: environmental education, green chemistry, bibliographic survey, tree of science.

Introdução

A preservação da natureza tem sido uma pauta internacional e nacional devido às crises ocasionadas pelos impactos ambientais oriundos de um modelo de sociedade que não tem conseguido mais esconder suas contradições e esgotamento (PITANGA, 2016; ZANETONI; LEÃO, 2022). Para Pitanga (2016), não se trata de uma crise do meio ambiente ou do sistema econômico, mas de uma crise da modernidade, pautada em ideologias desenvolvimentistas que visam a um desenvolvimento científico e tecnológico para fins utilitários e de consumo.

[...] as externalidades do modelo em voga podem ser vistas por todos os lados. Para isso, basta fazer uma leitura mais aprofundada da conjuntura mundial que passaremos a enxergar além dos aspectos ligados à degradação ambiental, temos: a pobreza, a violência, a crise de fontes energéticas, as guerras, a corrupção como alguns problemas globais deste mundo marcado pelas contradições (PITANGA, 2016, p. 143).

Nesse contexto, a Educação Ambiental (EA) tem sido entendida como um dos instrumentos necessários para o enfrentamento de problemas socioambientais (PITANGA, 2016; ZANETONI; LEÃO, 2022). Essa relação tem origem em um movimento internacional que começou na década de 1970 impulsionado pela preocupação da sociedade e governos de vários países, e que promoveu eventos como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a Rio-92, e a Conferência de Johannesburgo em 2002 (PITANGA, 2016; PENELUC; MORADILLO; SIQUEIRA, 2020). Existem duas formas de entendimento da EA: a conservadora — que enfatiza a mudança individual, o desenvolvimento da percepção ambiental e o consumo sustentável —, e a crítica — que enfatiza a transformação social e uma concepção da realidade mais complexa, material e histórica (PENELUC; MORADILLO; SIQUEIRA, 2020; ZANETONI; LEÃO, 2022).

No contexto nacional, Peneluc, Moradillo e Siqueira (2020) citam a Lei nº 9.795, aprovada pelo Senado em 27 de abril de 1999, como importante ação responsável por integrar a EA em todas as modalidades de ensino, e Zanetoni e Leão (2022) citam as Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica, reformuladas em 2013, que passaram a englobar a dimensão da EA. Para eles, os documentos normativos sobre EA têm uma aproximação crítica. No entanto, existe uma predominância da concepção conservadora na EA brasileira:

A macrotendência pragmática, com forte corte cognitivista, assume os princípios da educação para o desenvolvimento sustentável [EDS] e para o consumo sustentável, focada em temas como coleta seletiva e reciclagem dos resíduos, com a Economia Verde, das tecnologias limpas, da ecoeficiência empresarial e de sistemas de gestão ambiental (PENELUC; MORADILLO; SIQUEIRA, 2020, p. 263-264).

Essa crítica dos autores à EDS converge com a de Pitanga (2016), que entende que a EA crítica tem fundamentos capazes de superar a EA conservadora de caráter biologizante e a EDS, entendida por



aqueles que a defendem como uma superação da EA falida.

Em relação ao ensino de química, Zanetoni e Leão (2022) entendem que a EA é limitada porque ele está ancorado nos livros didáticos disponibilizados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). O conceito de Química Verde (QV) foi apresentado em 1998 por Anastas e Warner e trata-se de uma proposta pautada em 12 princípios para o desenvolvimento de processos químicos menos nocivos à saúde e ao meio ambiente (MENDES SANDRI; OURIDES SANTIN, 2019). Pitanga (2016) entende que a inserção da QV encontra diversas barreiras devido à racionalidade técnico-científica disseminada nas práticas de pesquisa e de ensino dessa área de conhecimento, sendo necessário “[...] encontrar caminhos para superar as barreiras da superespecialização e do disciplinarismo, e, nesse ponto, a Educação em QV surge com bastante força, por defender uma mudança imediata nos currículos universitários defasados [...]” (PITANGA, 2016, p. 156). Mendes Sandri e Ourides Santin (2019) propõem modelos alinhados de forma crescente à vertente crítica pelos quais a QV pode ser inserida no ensino de química. Os autores atentam para a complexidade dessa inserção da QV e os desafios para a formação e prática de professores, que, por vezes, desconhecem os fundamentos da QV.

Assim, nosso objetivo com este trabalho foi realizar um levantamento bibliográfico internacional utilizando uma ferramenta estatística que nos permita compreender como a área de Educação Química Ambiental está estruturada e como seus fundamentos e tendências dialogam com as problemáticas apresentadas.

Levantamento bibliográfico e Árvore da Ciência

Em um levantamento bibliográfico, a seleção de publicações relevantes e a identificação de relações existentes entre elas é um processo complexo e demorado, principalmente devido ao aumento das publicações científicas (VALENCIA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020; ZULUAGA *et al.*, 2022). Nesse sentido, é importante o desenvolvimento de ferramentas que possam auxiliar a pessoa pesquisadora nesse processo, além de minimizar vieses (ZULUAGA *et al.*, 2022). Diversas ferramentas para esse fim utilizam a teoria dos grafos¹ e permitem a criação de redes, o que exige o conhecimento de processamento e análise de rede (VALENCIA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020; ZULUAGA *et al.*, 2022).

A Árvore da Ciência (AC) é uma ferramenta on-line que foi desenvolvida pelo projeto Core of Science na Universidade Nacional da Colômbia (ROBLEDO; OSORIO; LÓPEZ, 2014; VALENCIA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020; ZULUAGA *et al.*, 2016; ZULUAGA *et al.*, 2022). Baseada na metáfora de floresta e árvores, a AC possibilita um entendimento rápido de um campo de pesquisa de interesse (árvore) dentro de uma comunidade científica (floresta) (ZULUAGA *et al.*, 2022). Ela utiliza a teoria dos grafos e não requer que a pessoa pesquisadora tenha conhecimentos de programação. A ferramenta trabalha com três algoritmos para identificar as publicações relevantes e produzir uma rede de citações baseada na metáfora de raízes, tronco e folhas (ZULUAGA *et al.*, 2022).

As raízes representam os artigos clássicos, ou estudos que deram início à área de conhecimento. Os artigos que conectam artigos clássicos com artigos atuais (folhas) representam o tronco. Por fim, as folhas representam artigos publicados recentemente e que têm muitas conexões com a rede (ZULUAGA *et al.*, 2022).²

¹ Para saber mais sobre a teoria dos grafos, recomendamos a leitura de Valencia-Hernández *et al.* (2020).

² Para melhorar o resultado das folhas, Valencia-Hernández *et al.*, (2020) propuseram a utilização do algoritmo SAP, resultando em referências mais recentes e conectadas ao tronco e às raízes.



A AC deve ser utilizada por meio de levantamentos realizados na base de dados Web of Science (WOS), o que pode ser uma de suas limitações (VALENCIA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020; ZULUAGA *et al.*, 2022). Essa base permite a geração de um gráfico de citação com os artigos e suas referências em formato .txt, o qual é utilizado para a geração da AC. Outra limitação é que a ferramenta funciona mais adequadamente com um conjunto de no mínimo 100 e no máximo 500 trabalhos, o que caracterizaria uma árvore dentro da floresta (ZULUAGA *et al.*, 2022). Além disso, a ferramenta está em constante aprimoramento e algumas referências listadas podem ser apresentadas com informações parciais (falta de título, falta do nome de autores etc.), o que dificulta sua localização pela pessoa pesquisadora.

Na floresta da Educação em Ciências, nossa árvore de interesse foi a Educação Química Ambiental. O levantamento foi realizado na base de dados WOS em agosto de 2023, na coleção principal, sem especificação de intervalo de datas. Buscamos pela seguinte combinação de dois termos no título: (environment* OR green* OR sustainab*) AND (chemist*). O asterisco funciona como caractere curinga, o que possibilitou o retorno de variações dos termos, como “environmental” e “greener”. A busca retornou 7.246 trabalhos e, em seguida, realizamos o processo de refino.

Restringimos esse conjunto de trabalhos a apenas aqueles classificados como “artigo” em “tipos de documento”, reduzindo o seu volume para 3.094 trabalhos. O segundo refino foi em relação aos “títulos da publicação”, em que selecionamos apenas os artigos publicados em periódicos de EC³, reduzindo o conjunto para 364 artigos. Por fim, esses artigos foram analisados individualmente a fim de se excluir aqueles que não tratam de Educação Química Ambiental. Excluímos 41 artigos do conjunto; entre eles, a maioria usa o termo “environment” no sentido de ambiente de aprendizagem. Assim, obtivemos um conjunto final composto por 323 artigos, sendo 286 deles (89%) pertencentes ao periódico Journal of Chemical Education.

A fim de gerar o arquivo para produção da árvore, esses 323 artigos foram adicionados à lista de itens marcados da WOS, que pode ser acessada no menu do website. Uma vez na lista, os 323 registros foram selecionados e exportados para “arquivo de texto sem formatação” com conteúdo de “registro completo e referências citadas”. O arquivo .txt gerado foi inserido no website⁴ da AC para geração da árvore. Vale destacar que as referências listadas nas raízes, tronco e folhas da árvore não são necessariamente as mesmas que foram utilizadas para sua geração, pois a AC baseia-se nas citações realizadas pelos artigos do levantamento.

Depois de gerar a árvore, procuramos acessar todos os arquivos. Quatro trabalhos não foram localizados (três nas raízes e um nas folhas) devido a limitações da própria ferramenta; contudo, trata-se de uma quantidade que não afeta a compreensão desse campo de pesquisa.

Organizamos os arquivos separando-os em raízes, tronco e folhas, conforme a AC gerada. Realizamos a leitura de todos os resumos e destacamos o que os artigos objetivavam. A partir disso, notamos algumas regularidades, o que possibilitou a classificação dos trabalhos em três categorias, conforme o objetivo (foco) do estudo: “implementação da Química Ambiental” (QA); “concepções e fundamentos da QA”; “experimentos adequados à QA”. Vale destacar que alguns trabalhos abordam aspectos das três categorias, mas com foco em apenas uma delas. A seguir, apresentamos com mais detalhes cada região da árvore obtida e as categorias. Dentro das limitações deste trabalho,

³ Chemistry Education Research and Practice; Chemistry Teacher International; Green Chemistry Education Recent Developments; International Journal of Early Childhood Special Education; International Journal of Science and Mathematics Education; International Journal of Science Education; Journal of Chemical Education; Journal of Science Education and Technology; Science Education; Service Learning and Environmental Chemistry Relevant Connection; REMEA Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental; Worldwide Trends in Green Chemistry Education.

⁴ <https://tos.coreofscience.com>

citamos apenas algumas das referências de cada região.

Árvore da Educação Química Ambiental

Com base na árvore gerada a partir dos 323 artigos selecionados, produzimos uma representação na Figura 1 indicando a quantidade de trabalhos pertencentes a cada região da árvore e citando aqueles que foram abordados como exemplo na discussão que apresentamos nos próximos tópicos.

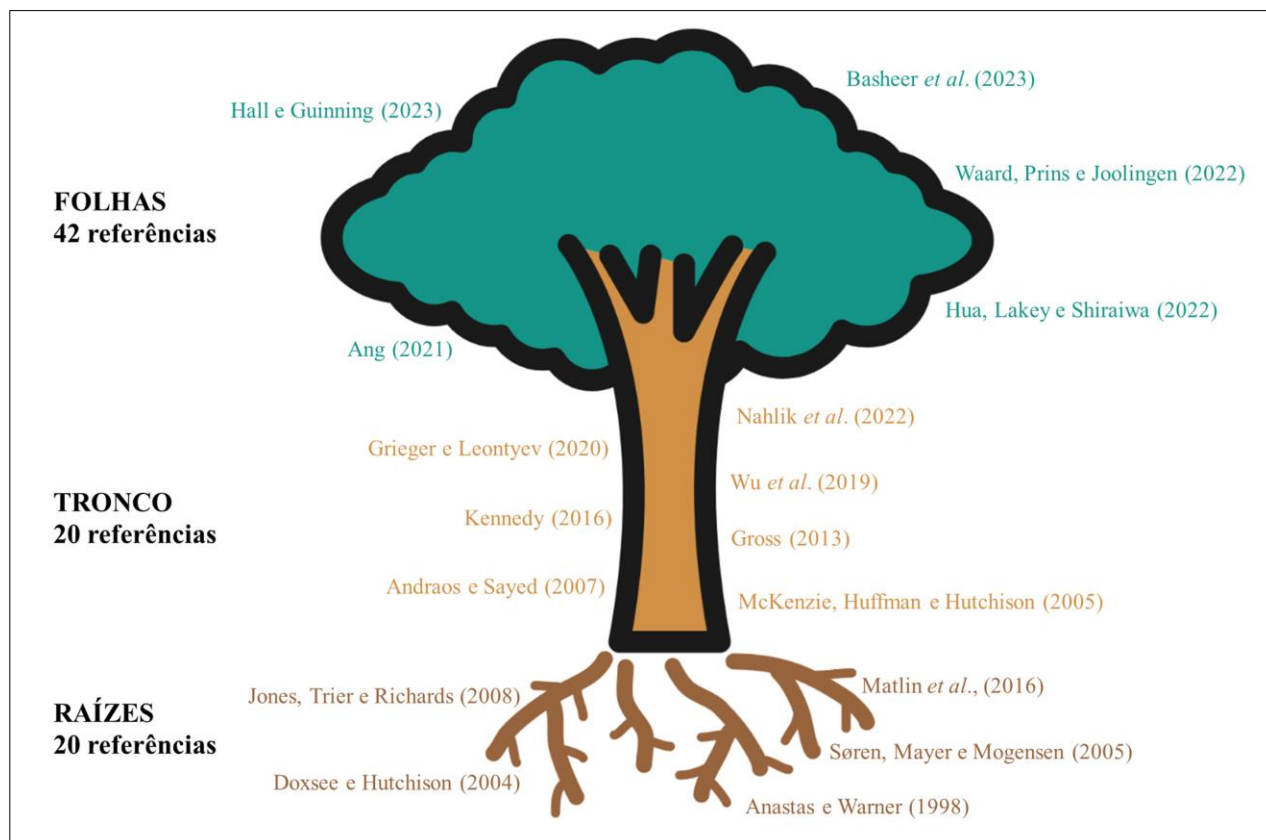


Figura 1: Árvore da Educação Química Ambiental. Fonte: elaboração própria.

Ilustramos na Figura 2 a proporção e o número de trabalhos que foram classificados em cada categoria.

A seguir, apresentamos com mais detalhes as raízes, tronco e folhas da árvore, discutindo de maneira geral como cada categoria é abordada e citando alguns dos trabalhos retornados que julgamos pertinentes para uma breve apresentação da árvore.

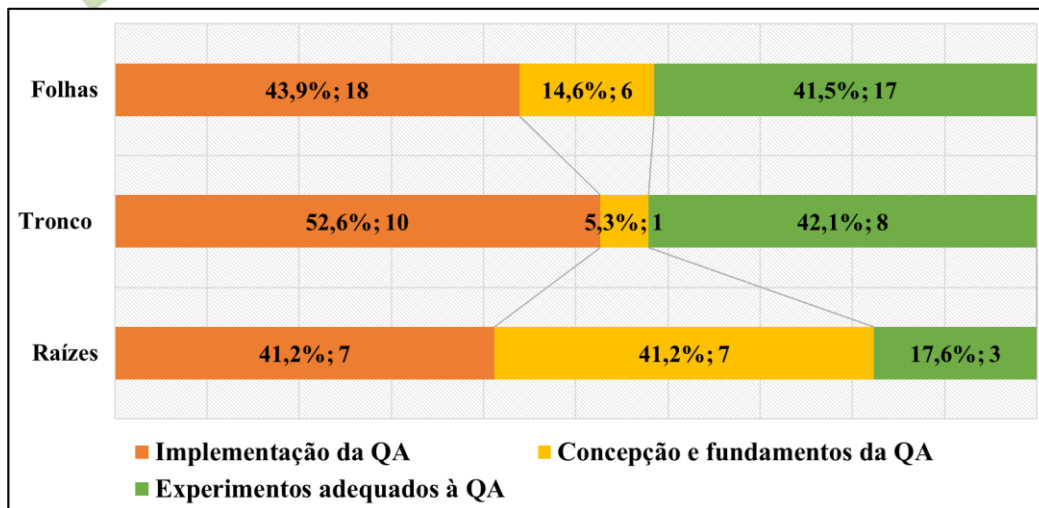


Figura 2: Proporção de cada categoria criada em cada parte da árvore. Valor em proporção (%); valor absoluto.
Fonte: elaboração própria.

Raízes

Os 20 trabalhos que pertencem às raízes (dos quais tivemos acesso a 17) são seminais e representam as referências fundamentais que deram origem ao campo, com datas de publicação entre os anos de 1991 e 2019. Esse período indica que as raízes não se restringem apenas ao antigo e que referências mais atuais podem auxiliar na própria estruturação das raízes. Nesse conjunto, sete trabalhos têm como objetivo a “implementação da QA”, sete focam nas “concepções e fundamentos da QA”, enquanto três referências tratam de “experimentos adequados à QA”.

Dos trabalhos que abordam a “implementação da QA”, seis são artigos e apenas um é livro. Essas referências discorrem sobre propostas de inserção da QA no ensino de química avaliando os avanços no ensino de QV, desde o que tem sido desenvolvido e as conquistas da comunidade educacional até as novas perspectivas, estratégias e princípios, identificando também os desafios e negligências da sua implementação. Por exemplo, há uma proposta de introdução de experimentos da QV no currículo de licenciandos como pedagogia baseada em laboratório com avaliação da eficácia em inserir conceitos de desenvolvimento sustentável. Encontramos experiências específicas de implementação de EDS na Alemanha e na Malásia. Também são descritas as ações desenvolvidas pelo Green Chemistry Institute (GCI), fundado em 1977, que tem como objetivo disseminar a QV na pesquisa, na educação, em palestras, em websites etc. No livro de Søren, Mayer e Mogensen (2005), os autores, entendendo que a EDS não lida apenas com questões ambientais, mas com questões socioambientais, como justiça social, propõem o termo “escolas-EDS” como enfrentamento ao que tem sido proposto pelas “escolas verdes”, e propõem uma lista não exaustiva de critérios de qualidade usados para fomentar reflexões e debates entre os integrantes da comunidade escolar.

Os sete artigos que têm como foco as “concepções e fundamentos da QA” tratam dos desafios sociais na educação com base em conceitos da EA, do debate da sustentabilidade, com suas incertezas, dilemas e questões éticas, além de abordar teoricamente a EDS e trabalhar com os conceitos de design e a filosofia científica da QV. No artigo de Jones, Trier e Richards (2008), há uma discussão sobre as percepções de acadêmicos e estudantes sobre a implementação da EDS em programas de graduação. Os autores identificaram que, embora haja um reconhecimento da importância de incorporá-la no currículo, existem incertezas de como isso pode ser feito da melhor forma, uma vez que essa proposta curricular é vista como oposta à pedagogia empregada. As questões de sustentabilidade também são discutidas a partir de uma concepção de alfabetização



científica e da função da ciência no debate público. Existe uma crítica às perspectivas reducionistas da pesquisa e educação científicas, insuficientes para enfrentar problemas socioambientais; nesse contexto, membros do projeto System Thinking in Chemistry Education (STICE) defendem uma abordagem mais holística por meio de um pensamento sistêmico. O pensamento sistêmico também é abordado em relação ao programa de aprendizado científico Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM), em que alunos podem ter uma compreensão de química para além da alcançada no aprendizado mecânico. Matlin *et al.*, (2016) propõem o conceito de química mundial (*one-world chemistry*), que faz parte de uma abordagem de pensamento sistêmico que reúne diversos fatores, como o ético e o de sustentabilidade. Para os autores, o sistema químico deve ser entendido em contexto e com suas múltiplas relações e interfaces com outros sistemas, como a biosfera, o ambiente, a saúde humana e a animal, a economia, a política, a psicologia e o direito.

Dos trabalhos que abordam “experimentos adequados à QA”, dois são livros e um é artigo. Neles encontramos discussões mais amplas que se alinham aos fundamentos da QV, com uma variedade de abordagens e estratégias que envolvem matérias-primas e solventes alternativos, usos de catalisadores e biossínteses, demanda de materiais de laboratório, economia atômica, que está associada ao número máximo de átomos de reagentes que aparecem nos produtos etc. O livro de Anastas e Warner (1998) é a referência fundamental da QV, enquanto Doxsee e Hutchison (2004) centram essa discussão na química orgânica com uma proposta curricular para substituição do currículo tradicional de laboratório de química orgânica, apresentando importantes temas conceituais e estratégias experimentais que oferecem menos risco à saúde e ao meio ambiente.

Tronco

A ferramenta retornou 20 trabalhos do tronco, isto é, estudos que ligam as primeiras pesquisas sobre o tema (raízes) com os artigos mais recentes (folhas). Dentro desse conjunto, metade dos trabalhos (10) caracterizam-se por objetivar algum tipo de “implementação da QA”; nove trabalhos buscam realizar “experimentos adequados à QA” e um tem como objetivo discutir “concepções e fundamentos da QA”.

Os estudos que foram classificados como “implementação da QA” objetivam a formação dos estudantes dentro dos princípios da sustentabilidade, da QV e da preservação ambiental. São pesquisas que relatam estratégias e atividades didáticas que auxiliam na educação das pessoas (na sua maioria, no nível da graduação). Assim, visa-se a apropriação de princípios da sustentabilidade, a discussão sobre impactos causados pela química no meio ambiente e na saúde humana. Assim como nas raízes, aqui também há trabalhos que lançam mão do pensamento sistêmico como uma abordagem possível de criar habilidades interessantes para a QV, como a de previsão de consequências não intencionais de novos produtos químicos. Encontramos estudos que relatam a elaboração de cursos específicos sobre QV e sustentabilidade para grupos com pessoas de diferentes formações, em ações interdisciplinares (GROSS, 2013; KENNEDY, 2016). Destacamos pesquisas sobre estratégias de ensino e aprendizagem, como em Grieger e Leontyev (2020), que explora vídeos instrutivos produzidos por estudantes para promover a compreensão dos princípios da QV no ensino à distância. O estudo aponta que a iniciativa foi bem recebida pelos discentes, que manifestaram interesse em realizar a tarefa novamente. O projeto aumentou a familiarização dos alunos com os 12 princípios da QV (GRIEGER; LEONTYEV, 2020).

Classificamos trabalhos em “experimentos adequados à QA” quando objetivavam desenvolver atividades práticas de laboratório que se alinham aos princípios da QV ou a princípios sustentáveis. Tais estudos buscam rotas alternativas para produção de substâncias, economia de reagentes, redução de descarte, utilização de biomassa, entre outros princípios. Alguns artigos são mais descritivos e focam na realização de reações para inspirar práticas experimentais didáticas (McKENZIE; HUFFMANN; HUNTCHISON, 2005) ou ainda desenvolver métodos capazes de



avaliar o quão verde é uma reação (ANDRAOS; SAYED, 2007). Outros descrevem como o desenvolvimento de um experimento adequado aos princípios da QA se deu em um ambiente educacional. É o caso do estudo de Wu e colaboradores (2019), no qual desenvolveu-se um módulo de disciplina incorporando os princípios da QV em um curso introdutório de laboratório de química orgânica. No módulo, os alunos planejavam os experimentos a fim de obter reações mais verdes, executavam seus experimentos planejados e repetiam-nos buscando otimizar ainda mais as condições de reação para melhorar os rendimentos, ao longo de três semanas.

Um artigo apresenta objetivo que se alinha à classificação de “concepções e fundamentos da QA”. Nahlik e colaboradores (2022) têm como objeto de pesquisa a concepção sobre QV de um grupo de professores canadenses e estadunidenses. Por meio de entrevistas realizadas por telefone, os pesquisadores investigaram como esses docentes vêm desenvolvendo sua linguagem e compreensão da QV no âmbito de um programa voltado para a formação de professores. Segundo os pesquisadores, é importante mapear a concepção docente sobre a QV para solidificá-la como uma prática padrão na educação científica (NAHLIK *et al.*, 2022).

De maneira geral, podemos observar que grande atenção é dada à aplicação dos princípios da QV, principalmente no que diz respeito às práticas de laboratório. Os 12 princípios da QV são a sistematização de normas e uma espécie de guia que orienta os trabalhos internacionais sobre o tema, e estão presentes no livro de Anastas e Warner (1998) nas raízes. Destacamos que a disciplina de química orgânica foi a mais presente nos trabalhos que representam o tronco; desde as raízes já encontramos uma preocupação maior com a orgânica no livro de Doxsee e Hutchison (2004). Apenas um artigo dedica-se a pensar sobre a concepção de professores sobre a QA. No tronco, não há presença de discussões mais fundamentais, no sentido de alicerce teórico, como podemos observar nas raízes, o que pode demonstrar: a) que o tema já conta com referenciais teóricos sólidos ou b) que essa não é uma preocupação dos estudos, que assumem um viés mais pragmático.

Folhas

As folhas apresentaram um total de 42 trabalhos (dos quais tivemos acesso a 41). Esse corpo de trabalhos foi caracterizado pela predominância das categorias “implementação da QA” (18) e “experimentos adequados à QA” (17) em comparação com a categoria “concepção e fundamentos da QA” (6). A distribuição entre as categorias mostra que os trabalhos mais recentes tendem a abordar a EA de forma mais prática, seja via experimentos ou por meio de atividades de ensino ou educação, o que segue a tendência revelada no tronco. Ainda assim, há uma representatividade em proporção aproximadamente três vezes maior, de 5,3% no tronco para 14,6% nas folhas, de pesquisas focadas em investigar a bibliografia e a concepção de professores e alunos. Independente da categoria, as temáticas envolvendo QA abordadas foram: QV, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A categoria “implementação da QA” envolveu trabalhos que buscaram propor intervenções curriculares, atividades de educação não formal, aplicação de projetos, minicursos ou aulas, avaliação e elaboração de materiais didáticos e ferramentas digitais interativas e abordagens pedagógicas. Como exemplo, o trabalho de Waard, Prins e Joolingen (2022) procurou promover o engajamento de estudantes pré-universitários na discussão de sustentabilidade e ACV. A partir do tema da ACV de plásticos, junto aos 12 princípios da QV, os autores aplicaram aulas que consistiram em cinco partes. A primeira parte foi uma introdução ao tópico; da segunda à quarta parte, foram discutidos aspectos da ACV relacionados ao tema; a quinta parte foi uma avaliação e discussão em grupo. Os principais resultados dos autores mostraram que as aulas promoveram uma visão crítica sobre a quantidade de energia necessária para a produção de plástico e o nível de poluição gerado nesse processo. Contudo, alguns estudantes demonstraram não compreender completamente os conceitos de biodegradável, renovável e/ou custo energético (WAARD; PRINS; JOOLINGEN,



2022). Uma abordagem inusitada sobre aquecimento global foi desenvolvida por Hall e Guinning (2023) ao proporem uma atividade sobre a radiação de corpo escuro e o efeito estufa e a relação da absorção de infravermelho e o aquecimento global. Utilizando um pré e pós-teste, os autores relatam que a atividade provocou um aumento no número de respostas corretas. A abordagem do pensamento sistêmico orientou três trabalhos nesta categoria no sentido de efetivar a aprendizagem e incorporação dos princípios da QV e dos ODS.

A categoria “experimentos adequados à QA” apresentou trabalhos focados no ensino superior e que envolviam atividades práticas de laboratório com reações, geralmente sínteses orgânicas, que eram exemplos ou alternativas mais verdes para rotas tradicionais de reação. A QV aplicada a reações foi a proposta dominante nesses trabalhos, estando presente em 12 dos 17. Um exemplo é o trabalho de Ang (2021), que realizou uma reação aquosa de acoplamento cruzado Suzuki-Miyaura usando um pré-catalisador fluorado reciclável em um curso de medicina, fazendo com que os alunos analisassem os materiais, os produtos e o método de recuperação do catalisador utilizado. Segundo o autor, os alunos relataram que a atividade facilitou o entendimento da aplicação dos princípios da QV, ainda que tenha sido desafiador entender a relevância deles em cada passo da reação. Hua, Lakey e Shiraiwa (2022) apresentaram uma abordagem semelhante, mas a partir de simulações digitais de reação no software MATLAB. Nesta categoria o pensamento sistêmico apareceu em dois trabalhos, sendo usado para conectar os conteúdos específicos da química de uma reação com os temas de QA abordados.

O menor grupo, “concepção e fundamentos da QA”, consistiu em artigos de revisão bibliográfica e de entrevistas ou questionários que buscaram levantar noções e percepções sobre tópicos da EA. Como exemplo, destacamos o trabalho de Basheer e colaboradores (2023), que investigou o conhecimento de professores e professores em formação sobre sustentabilidade e QV. Os autores aplicaram um questionário de escala Likert para 123 professores e 148 professores em formação de Israel. Os resultados apontaram que os docentes com mais tempo de atuação possuem maior conhecimento sobre os temas, porém, os autores argumentam que, no geral, esse conhecimento é bastante baixo para ambos os grupos analisados. Devido aos níveis insatisfatórios de conhecimento, os currículos das universidades deveriam ser repensados e os professores poderiam encontrar formas de buscar ampliar seus conhecimentos sobre o tema (BASHEER *et al.*, 2023). Um estudo similar foi realizado no Canadá, entrevistando 8 professores da área de química orgânica sobre QV e química sustentável: Parker, Noronha e Bongers (2023) encontraram que percepções da QV como um tópico eletivo, uma não prioridade e um tema para anos finais geram uma barreira para reformas educacionais que inserem a QV no currículo.

Em comparação com as raízes, as folhas recuperam parte da categoria “concepção e fundamentos da QA”, praticamente extinta no tronco. Ao mesmo tempo, praticamente reproduz a proporção do tronco de abordagens experimentais que era a menos representativa nas raízes. Dessa forma, ao montar a árvore completa, temos a percepção de que uma orientação pragmática e de química aplicada, principalmente relacionada à QV e à orgânica, se ampliou e parece ter a tendência de dominar os estudos desse tema. Essa ampliação e dominância abrupta que ocorreu das raízes para as folhas pode ter causado uma lacuna com a quase extinção de trabalhos da categoria “concepção e fundamentos da QA”, o que justificou seu ressurgimento nas folhas.

Algumas considerações

Este trabalho objetivou realizar um levantamento bibliográfico internacional utilizando a ferramenta estatística da AC, buscando compreender como a área de Educação Química Ambiental está estruturada, bem como seus fundamentos e tendências. As raízes se constituíram em uma proporção



equiparada entre as categorias “implementação da QA” e “concepções e fundamentos da QA” e uma ligeira presença de “experimentos adequados à QA”. O tronco suprimiu os fundamentos para intensificar os trabalhos envolvendo experimentação, focados em reações específicas e na QV. Já as folhas retomam um equilíbrio entre abordagens de implementação e experimentação da QA, mas resgatam uma representatividade de investigações sobre os fundamentos e concepções da QA.

O panorama encontrado nas folhas (o que nos indica as tendências do tema) revela, no geral, que as três categorias estão alinhadas no sentido de incorporar os princípios da EA, em especial a QV, no ensino de química. Essa incorporação aparece nas folhas de uma forma mais aplicada e experimental, sendo que na categoria “experimentos adequados à QA” aparenta estar conectada até mesmo com noções de produção industrial química. Podemos interpretar esse quadro em dois sentidos. As raízes e o tronco da Educação Química Ambiental podem estar consolidados o suficiente para sustentar questões de pesquisas de caráter aplicado. Por outro lado, podemos entender que a influência da indústria química e produção a partir dos princípios verdes esteja direcionando as pesquisas em QA. Em nossa perspectiva, entendemos que o segundo sentido tem maior poder explicativo, devido ao grande número de trabalhos de química orgânica, com foco na QV, e à ausência de discussões ontológicas e epistemológicas em trabalhos mais atuais.

Além disso, observamos que, além da QV, a EDS também é muito abordada em todas as partes da árvore, representando uma tendência que pode refletir essa perspectiva mais pragmática e mais reformista, no sentido de adaptar a sociedade para um consumo mais sustentável ou verde sem questionar o modelo de sociedade, a racionalidade técnico-científica vigente e a concepção de relação ser humano-natureza, como discutido por Pitanga (2016) e Peneluc, Moradillo e Siqueira (2020), que delineiam críticas à EDS. Nesse sentido, elas recaem em uma concepção de EA conservadora, mesma concepção identificada em contexto nacional por Zanetoni e Leão (2022). Ainda que haja essa predominância, identificamos que existem diversas resistências à implementação da QV e da EDS em diferentes contextos de ensino, com dificuldades que se entendem do currículo à sala de aula, envolvendo a formação e concepção de professores, sendo alguns deles discutidos por Mendes Sandri e Ourides Santin (2019) em relação à QV.

Contraditoriamente, a QV e a EDS abarcam aspectos importantes que nos ajudam a refletir sobre a intrínseca relação da química com a natureza, sendo uma ciência diretamente associada a impactos ambientais e, por isso mesmo, consideramos importante que se recupere mais da filosofia da química e da perspectiva crítica de EA em todas as regiões da árvore. O pensamento sistêmico tem uma perspectiva mais holística e relacional da realidade e está presente das raízes às folhas; entretanto, essa abordagem precisa ser avaliada com cautela porque pode levar a relativizações.

Reconhecemos que utilizar apenas trabalhos internacionais constitui uma limitação ao trabalho e para o entendimento das abordagens da QA. Dessa forma, apontamos que os passos futuros para o avanço dessa discussão envolvem um levantamento semelhante no Brasil para comparar o panorama nacional com o apresentado neste estudo, ainda que algumas semelhanças já tenham sido identificadas.

Agradecimentos e apoios

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de financiamento 001.

Referências

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green chemistry**: theory and practice. Inglaterra: Oxford



University Press, 1998.

ANDRAOS, J.; SAYED, M. On the Use of. **Journal of Chemical Education**, v. 84, n. 6, p. 1004, 2007.

ANG, J. W. J. Integrating Green Chemistry into Teaching Laboratories: Aqueous Suzuki–Miyaura cross-coupling reaction using a recyclable fluorine pre-catalyst. **Journal of Chemical Education**, v. 98, n. 1, p. 203-207. 2021.

BASHEER, A.; SINDIANI, A.; GULACAR, O.; EILKS, I.; HUGERAT, M. Exploring pre- and in-service science teachers' green chemistry and sustainability awareness and their attitudes towards environmental education in Israel. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 21, p. 1639–1659. 2023.

DOXSEE, K. M.; HUTCHISON, J. E. **Green Organic Chemistry**: strategies, tools, and laboratory experiments. Austrália: Thomson-Brooks/Cole, 2004.

GRIEGER, K.; LEONTYEV, A. Promoting student awareness of green chemistry principles via student-generated presentation videos. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 9, p. 2657-2663, 2020.

GROSS, E. M. Green Chemistry and Sustainability: an undergraduate course for science and non-science majors. **Journal Of Chemical Education**, v. 90, n. 4, p. 429-431, 2012.

HALL, W. P.; GUNNING, L. Physical Chemistry in Context: Using quantum mechanics to understand the greenhouse effect. **Journal of Chemical Education**, v. 100, n. 3, p. 1333-1342. 2023.

HUA, A. K.; LAKEY, P. S. J.; SHIRAIWA, M; Multiphase kinetic multilayer model interfaces for simulating surface and bulk chemistry for environmental and atmospheric chemistry teaching. **Journal of Chemical Education**, v. 99, n. 9, p. 1246-1254. 2022.

JONES, P.; TRIER, C. J.; RICHARDS, J. P. Embedding Education for Sustainable Development in higher education: a case study examining common challenges and opportunities for undergraduate programmes. **International Journal of Educational Research**, v. 47, n. 6, p. 341-350, 2008.

KENNEDY, S. A. Design of a dynamic undergraduate green chemistry course. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 4, p. 645-649, 2015.

MATLIN, S. A.; MEHTA, G.; HOPF, H.; KRIEF, A. One-world chemistry and systems thinking. **Nature Chemistry**, v. 8, p. 393-398, 2016.

MCKENZIE, L. C.; HUFFMAN, L. M.; HUTCHISON, J. E. The evolution of a green chemistry laboratory experiment: greener brominations of stilbene. **Journal of Chemical Education**, v. 82, n. 2, p. 306, fev. 2005. <http://dx.doi.org/10.1021/ed082p306>.

MENDES SANDRI, M. C.; SANTIN FILHO, O. Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química. **Educación Química**, v. 30, n. 4, p. 34-46, 2019.

NAHLIK, P.; KEMPF, L.; GIESE, J.; KOJAK, E.; DAUBENMIRE, P. L. Developing green chemistry educational principles by exploring the pedagogical content knowledge of secondary and pre-secondary school teachers. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 24, n. 1, p. 283-298, 2023.

PARKER, A.; NORONHA, E.; BONGERS, A. Beyond the Deficit Model: Organic Chemistry Educators' Beliefs and Practices about Teaching Green and Sustainable Chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 100, n. 5, p. 1728–1738. 2023.



PENELUC, M. C.; PINHEIRO, B. C. S.; MORADILLO, E. F. Possíveis confluências filosóficas e pedagógicas entre a educação ambiental crítica e a Pedagogia Histórico-Crítica. **Ciência & Educação**, v. 24, n. 1, p. 157-173, 2018.

PITANGA, A. F. Crise da modernidade, educação ambiental, educação para o desenvolvimento sustentável e educação em química verde: (re)pensando paradigmas. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 141-159, 2016.

ROBLEDO, S.; OSORIO, G.; LÓPEZ, C. Networking en equeña empresa: una revisión bibliográfica utilizando la teoría de grafos. **Vínculos**, v. 11, n. 2, p. 6-16, 2014.

SØREN, B.; MAYER, M.; MOGENSEN, F. **Quality criteria for ESD-schools**: guidelines to enhance the quality of Education for Sustainable Development. Áustria: Radinger, 2005.

VALENCIA-HERNÁNDEZ, D. S.; ROBLEDO, S.; PINILLA, R.; DUQUE-MÉNDEZ, N. D.; OLIVAR-TOST, G. Algoritmo SAP para análisis de citaciones: una mejora al Árbol de la Ciencia. **Ingeniería E Investigación**, v. 40, n. 1, p. 45-49, 2020.

WAARD, E. F.; PRINS, G. T.; JOOLINGEN, W. R. Engaging Preuniversity Students in Sustainability and Life Cycle Assessment in Upper-Secondary Chemistry Education: The Case of Polylactic Acid (PLA). **Journal of Chemical Education**, v. 99, n. 8, p. 2991–2998. 2022.

WU, N.; KUBO, T.; SEKONI, K. N.; HALL, A. O.; PHADKE, S.; ZURCHER, D. M.; WALLACE, R. L.; KOTHARI, D. B.; MCNEIL, A. J. Student-designed green chemistry experiment for a large-enrollment, introductory organic laboratory course. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 11, p. 2420-2425, 2019.

ZANETONI, V. A. L.; LEÃO, M. F. Análise dos documentos normativos sobre Educação Ambiental na Educação Básica e a relação com o Ensino de Química e/ou Área de Ciências da Natureza. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, e51111327044, 2022.

ZULUAGA, M.; ROBLEDO, S.; ARBELAEZ-ECHEVERRI, O.; OSORIO-ZULUAGA, G. A.; DIQUE-MÉNDEZ, N. Tree of Science - ToS: A web-based tool for scientific literature recommendation. Search less, research more! **Issues In Science And Technology Librarianship**, n. 100, 2022.

ZULUAGA, M.; ROBLEDO, S.; OSORIO-ZULUAGA, G. A.; YATHE, L.; GONZÁLEZ, D.; TABORDA, G. Metabolomics and pesticides: systematic literature review using graph theory for analysis of references. **Nova**, v. 14, n. 25, p. 121-138, 2016.