



Ensino de química verde no Brasil: mapeamento de publicações a partir da análise de redes sociais

Green chemistry teaching in Brazil: mapping publications based on social network analysis

Caio Sereno Gaspar¹, Júlia Damazio Bouzon¹, Juliana Barreto Brandão¹ y Alvaro Chrispino¹

Resumo

A Química Verde (QV) emerge em consequência de uma série de discussões ambientais globais no final do século XX, preocupando-se com a minimização ou eliminação de resíduos gerados nas rotas sintéticas. Em razão dessa gênese, esse apelo marcadamente industrial e laboratorial tem resultado em uma lenta apropriação na área de ensino. Em 2018, o grupo **CTS e Educação**, do CEFET/RJ realizou um mapeamento de artigos sobre o ensino de QV no Brasil publicados até o 1º semestre de 2017 e constatou essa atuação incipiente. Sendo assim, com o objetivo de rever e atualizar esses dados até o 1º semestre de 2022, o presente trabalho apresenta os resultados de um novo mapeamento realizado a partir da análise de redes sociais. Os grafos expuseram um crescimento apreciável do número de publicações e instituições vinculadas nos últimos anos, salientando que o cenário brasileiro de publicações sobre o ensino de QV está em ascendência. Além disso, notou-se um avanço na relevância do enfoque CTS e da experimentação para a concretização da área. Por fim, Vânia Zuin e Carlos Alberto Marques consagraram-se mais uma vez como referências de autores, destacando-se, nos resultados atuais, os trabalhos de Marilei Sandri.

Palavras-chave

Química verde; ensino de química; redes sociais.

Abstract

Green Chemistry (GC) emerged due to a series of global environmental discussions at the end of the 20th century, concerned with minimizing or eliminating waste generated in synthetic routes. Due to this genesis, this markedly industrial and laboratorial appeal has resulted in a slow appropriation in education. In 2018, the STS and Education group of CEFET/RJ mapped articles on GC teaching in Brazil published until the 1st semester of 2017 and found this incipient performance. Thus, to review and update this data until the 1st semester of 2022, the present work presents the results of a new mapping using social network analysis. The graphs exposed a noticeable growth in the number of publications and associated institutions in recent years, highlighting the rising Brazilian scenario of publications on GC teaching. Moreover, it was noted an advance in the relevance of STS approach and experimentation for the area realization. Finally, Vânia Zuin and Carlos Alberto Marques have established themselves once again as author references, highlighting, in the current results, the work of Marilei Sandri.

Keywords

Green chemistry; chemistry teaching; social network.

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil. Falta ORCID.

Introdução

As décadas de 80 e 90 do século XX foram marcadas pela presença ativa de movimentos ambientalistas. O aumento expressivo do consumo de bens e matérias-primas, aliado ao crescimento descontrolado dos centros urbanos, especialmente no período posterior à 2ª Guerra Mundial, gerou um cenário de intensa deterioração ambiental e produção de resíduos, nunca antes visto na história da humanidade (Machado, 2011). Como resultado, estas questões agregaram-se como pauta global de discussões entre cientistas, diplomatas, empresários, chefes de Estado e outros setores da sociedade capitalista moderna.

Os primeiros sinais de inquietação puderam ser vistos em 1949, com a Conferência Científica da Organização das Nações Unidas sobre a Conservação e Utilização de Recursos (UNSCCUR) e, em 1962, com a publicação do livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa) pela bióloga marinha, ecologista e escritora norte-americana Rachel Carson. Entretanto, a busca efetiva por soluções para os problemas ambientais vigentes concretizou-se através de relatórios como o “Os Limites do Crescimento”, elaborado em 1972 pelo Clube de Roma, a “Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano”, criada durante a Conferência de Estocolmo também em 1972, e o Relatório de *Brundtland* intitulado “Nosso Futuro Comum”, publicado em 1987 (Farias e Fávoro, 2011).

Diante deste panorama, no início da década de 1990, a comunidade química inaugurou um olhar mais atento aos resíduos produzidos em suas atividades habituais. Esta nova perspectiva considera que “é preciso buscar uma alternativa que evite ou minimize a produção de resíduos, em detrimento da preocupação com o tratamento do resíduo no fim da linha de produção (*‘end of pipe’*)” (Lenardão *et al.*, 2003, p. 123).

Sob as alcunhas de Química Verde – termo que se consolida na literatura científica e educacional –, Química Ambientalmente Benigna, Química Limpa, Economia Atômica e Benigno pela Química Desenhada, Anastas e Williamson (1996), em publicação para a *American Chemical Society* (Sociedade Química Americana), delimitaram a germinação deste campo de estudos:

(...) há um movimento de busca por uma química cujo conhecimento das suas consequências não pare nas propriedades de uma determinada molécula ou na eficácia de um reagente em particular. Os impactos da química que concebemos como químicos são sentidos pelas pessoas que entram em contato com as substâncias que fazemos e usamos e pelo meio ambiente na qual elas estão contidas (Anastas e Williamson, 1996, p. 1).

O conceito de Química Verde é projetado de forma mais abrangente por Anastas e Warner no livro *Green Chemistry: Theory and Practice* de 1998, que o definem como “o desenho, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde e ao ambiente” (Anastas e Warner, 1998, p. 11). Esta definição é ancorada sobre 12 princípios gerais: 1. Prevenção; 2. Economia de Átomos; 3. Síntese de Produtos Menos Perigosos; 4. Desenho de Produtos Seguros; 5. Solventes e Auxiliares mais Seguros; 6. Busca pela Eficiência de Energia; 7. Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima; 8. Evitar a Formação de Derivados; 9. Catálise; 10. Desenho para Degradação; 11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição; 12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes.

Atualmente, levando-se em consideração a situação de emergência planetária, que exige um processo de transformação mundial em prol da transição para a sustentabilidade (Gil-Pérez e Vilches, 2022), a QV enquanto campo de pesquisa científica é considerada como uma possibilidade para alcançar a sustentabilidade ambiental no desenvolvimento das atividades químicas (Sandri e Marques, 2021; Anastas e Zimmerman, 2019).

Em função do contexto relativo à sua gênese, a QV apresenta um histórico recente que se desenvolve essencialmente nas indústrias e instituições de ensino superior e/ou pesquisa voltadas para a área da Química e, mesmo assim, ainda incipientemente. Não obstante, o enfrentamento dos paradigmas largamente enraizados na Química Pura construída no último século, ignorando princípios fundamentais para a incorporação industrial da QV, tornam esta missão ainda mais difícil e trabalhosa. Machado (2011) ressalta que a interseção entre essas áreas deve ser edificada tão antes por um ensino de química pautado pelo Desenvolvimento Sustentável, exigindo assim

uma visão ampla e holística da química, de natureza sistêmica, que possibilite a sua plena incorporação nos contextos ambiental, humano e societário em que a química sempre se desenvolveu e que são atualmente cada vez mais condicionantes da sua prática. Essa visão pode ser mais facilmente conseguida numa postura Ciência-Tecnologia-Sociedade (STS, mantendo a sigla inglesa) (...) (Machado, 2011, p. 541).

Embora muitos estudos atualmente defendam a necessidade de vinculações mais profundas entre a QV e o ensino de Química, este processo de incorporação já encontra terrenos férteis majoritariamente no ensino superior, evidenciando obstáculos quando se trata do ensino secundário (Roloff e Marques, 2018).

Com o intuito de investigar a visibilidade do ensino de QV no âmbito do ensino brasileiro, Brandão *et al.* (2018), utilizando a Análise de Redes Sociais (ARV), analisaram as palavras-chave, autores e referências que compunham as publicações nessa área até o 1º semestre de 2017. Visando a atualização desse estudo, o presente artigo tem por objetivo rever a metodologia e analisar o novo cenário de publicações desta área até o 1º semestre de 2022, contribuindo como aporte para pesquisadores que desejam explorar o universo da QV.

Metodologia

A metodologia inicial deste artigo está ancorada nos mesmos parâmetros estabelecidos no artigo que serviu de base para a atualização do mapeamento de publicações aqui realizada (Brandão *et al.*, 2018). Manteve-se como fonte da pesquisa bibliográfica as mesmas 260 revistas qualificadas de ensino, levantadas na base de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) e que, no quadriênio 2013 – 2016, possuíam Qualis A1, A2 e B1.

Em seguida, a partir do indexador de busca do endereço eletrônico de cada uma das revistas, colocou-se a expressão “Química Verde”, que poderia estar presente nas palavras-chave, resumo e/ou corpo do texto. Nesse momento, o recorte temporal, foram os artigos publicados dos 2.º semestre de 2017 até o 1.º semestre de 2022, período imediatamente posterior ao analisado no artigo base. Nessa nova busca, foram catalogados 28 novos artigos que, somados aos 31 anteriores, totalizaram 59 publicações para análise.

Entretanto, é importante acrescentar que, diferente do primeiro mapeamento, foram excluídos os manuscritos que apresentavam o termo de busca, porém não versavam

diretamente sobre o assunto. Nesse sentido, dentre as 59 publicações catalogadas, apenas as obras direcionadas à temática verde foram mantidas, resultando em 41 trabalhos (Anexo 1).

Este banco de dados atualizado encerra artigos presentes em 21 revistas, a saber: Pesquisa em Educação Ambiental; Revista Brasileira de Ensino de Química¹; Química Nova na Escola; Biota Amazônia; Ciência e Tecnologia; Cultivando o Saber; Educação & Tecnologia; Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências; Alexandria; Comciência; Investigações em Ensino de Ciências; Matéria; Movimento; RBPG – Revista Brasileira de Pós-Graduação; Amazônia; Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia; Ensino de Bioquímica; Experiências em Ensino de Química; Tecnologia e Sociedade; Ciência em Tela; Educação Ambiental em Ação.

Para efetuar o novo mapeamento das publicações, a Análise de Redes Sociais (ARS) foi novamente adotada como instrumento metodológico. Trata-se de uma ferramenta profícua para o objetivo deste trabalho, pois a ARS

tem como objetivo esquematizar as relações entre atores que têm interesses em comum. Esses atores são representados por nós – ou vértices – e as relações são representadas por arestas – ou linhas – em uma rede – ou grafo – que pode ser direcionada ou não. A análise dessas relações tem como base estudar essas ligações entre atores, podendo esses serem tanto pessoas quanto empresas ou outras entidades. (Souza *et al.*, 2019, p. 19).

A fim de compreender melhor uma rede social e suas potencialidades, recorre-se às suas medidas de centralidade, sendo dados quantitativos extraídos dos grafos e que nos fornecem um panorama a respeito da função dos atores ou grupos na rede social. São possíveis funções de conexão, liderança, intermediação, isolamento, estando mais ao centro da rede ou nas suas fronteiras. Essa centralidade, assim, “dá uma indicação aproximada do poder social de um nó baseado no quão bem eles ‘conectam’ a rede” (Curran & Curran, p. 373, 2014, citado por Albuquerque *et al.*, 2016).

Diversas medidas de centralidade foram desenvolvidas, mas neste trabalho apenas três delas foram registradas e analisadas: de grau de entrada, intermediação e proximidade. Ainda que a sua natureza seja quantitativa, uma descrição qualitativa sobre cada uma dessas medidas pode ser efetuada:

- a medida de centralidade de grau de entrada indica a quantidade de arestas que se conectam a um determinado vértice da rede, como uma palavra. Isto posto, valores altos de centralidade de grau indicam pontos de uma rede social que se relacionam com muitos outros pontos e que, por isso, são considerados importantes dentro da rede;
- a medida de centralidade de intermediação fornece a capacidade de um vértice de se conectar a fragmentos da rede (sub-redes) que o rodeiam, funcionando como uma espécie de ponte que conecta as publicações através de um ator social em comum, como um autor que escreve artigos distintos com composições de autores distintos entre si;

¹ A Revista Brasileira de Ensino de Química não foi encontrada para consulta durante a atualização no ano de 2022. Diversas tentativas de contato foram feitas, mas não houve resposta por parte da editora. Dessa forma, apenas os artigos encontrados até o ano de 2019 foram mapeados e, por isso, podem não representar a realidade de publicações deste periódico.

- a medida de centralidade de proximidade, por fim, tem a função de medir a distância entre um vértice e todos os outros vértices presentes na rede. Um aumento no grau de proximidade compreende uma maior aproximação entre o ator analisado e os outros atores que se conectam a ele. A tendência em uma rede social é que os vértices com maior centralidade de grau, na ordem em que se encontram, também apresentem as maiores centralidades de proximidade.

Assim como na publicação base, as redes sociais geradas para este trabalho foram construídas no software *NodeXL*². Sabendo que determinadas palavras-chave expressam o mesmo significado, ainda que escritas de formas distintas, realizaram-se as seguintes equivalências para melhor coerência na rede social: por “CTSA”, lê-se “CTS”; por “formação de professores”, lê-se “formação docente”; por “sustentabilidade ambiental”, lê-se apenas “sustentabilidade”; por “biodiesel”, lê-se “biocombustível”; por “ensino interdisciplinar”, lê-se “interdisciplinaridade”; por “objetivos para o desenvolvimento sustentável”, lê-se “desenvolvimento sustentável”; por “disciplina experimental”, “adaptação de experimentos” e “experimentos didáticos”, lê-se “experimentação”; por “síntese do AAS”, lê-se “ácido acetilsalicílico”; e, por “educação para o desenvolvimento sustentável”, lê-se “educação para a sustentabilidade”.

Por fim, sob a pretensão de um maior rigor metodológico perante o extenso conjunto amostral, seguindo os critérios adotados no artigo de referência como recorte da pesquisa, foram organizados em tabelas e analisados apenas os 8 vértices da rede de palavras-chave e os 3 vértices da rede de autores que exibem as maiores centralidades de grau. Os demais vértices com centralidades de grau imediatamente posteriores em ambas as redes compunham um corpo com medidas muito similares e que não forneceriam um escopo de dados relevante para uma discussão robusta.

Resultados e discussão

Dentre os diversos dados obtidos na catalogação, inicia-se a análise a partir da averiguação do número de publicações relativas à QV e o ensino considerando todo o período investigado, até o 1.º semestre de 2022, como mostra o Gráfico 1.



GRÁFICO 1. Publicações de QV por ano. Fonte: autoria própria.

² Disponível em <https://nodexl.com/>. Acesso em 17 nov. 2022.

Observa-se que até 2017 o montante de publicações era limitado, em uma média próxima a 1,8 publicações por ano (20 em 11 anos). Em contrapartida, analisando os anos mais recentes, vê-se visualmente uma notável tendência de crescimento, o que se traduz matematicamente em uma média de 4,2 publicações por ano (21 em 5 anos). Desconsiderando-se o ano de 2021, esta média salta para 5,0. Supõe-se que o baixo número de publicações em 2021 esteja relacionado à paralisação das atividades acadêmicas presenciais nas instituições de ensino durante o ano de 2020, primeiro ano de enfrentamento da pandemia de COVID-19. Não à toa, só há um único artigo publicado referente a QV neste ano, o que corrobora com a ideia de que o período pandêmico poderá ter influenciado negativamente nas publicações.

O ganho gradual de visibilidade da QV frente aos docentes, apontado por Brandão *et al.* (2018), mostra-se aparente no Gráfico 1 e corrobora com a valorização cada vez mais presente de atividades químicas que evoquem princípios de sustentabilidade (Marques *et al.*, 2013; Sandri e Santin Filho, 2019; Roloff e Marques, 2018).

No que diz respeito ao mapeamento das revistas que publicaram estes artigos, identificou-se que as revistas Química Nova na Escola e Revista Brasileira de Ensino de Química mantiveram a sua relevância na atualização do mapeamento, enquanto as demais apresentaram menos de 4 artigos publicados no período da pesquisa.

A primeira apresentou um número expressivo de publicações sobre o ensino de QV, porém, ressalta-se que dentre os artigos publicados até o 1.º semestre de 2017, apenas 4 abordavam efetivamente a temática investigada. Na atualização, constatou-se que mais 7 artigos foram publicados, totalizando 11 publicações. É importante destacar que, em 2021, o periódico lançou uma chamada de artigos para um número especial intitulado “Ensino de Química para o Desenvolvimento Sustentável”, com publicação em 2022.

A Revista Brasileira de Ensino de Química contou com 11 publicações até 2019. No entanto, devido à impossibilidade de pesquisa nesse periódico, por ausência de repositório *online*, bem como pela dificuldade de contato com a editora responsável, não foi factível o cômputo dos trabalhos publicados nos últimos 3 anos.

A análise do vínculo dos pesquisadores com as suas instituições de ensino foi realizada a partir da contabilização da quantidade de autores por instituição. Para isso, definiu-se que os indivíduos seriam computados uma única vez, ainda que estivessem presentes em mais de uma publicação. Além disso, considerou-se como recorte analítico as instituições que apresentaram 4 autores ou mais nos artigos coletados, totalizando 9 instituições, como se observa no Gráfico 2.

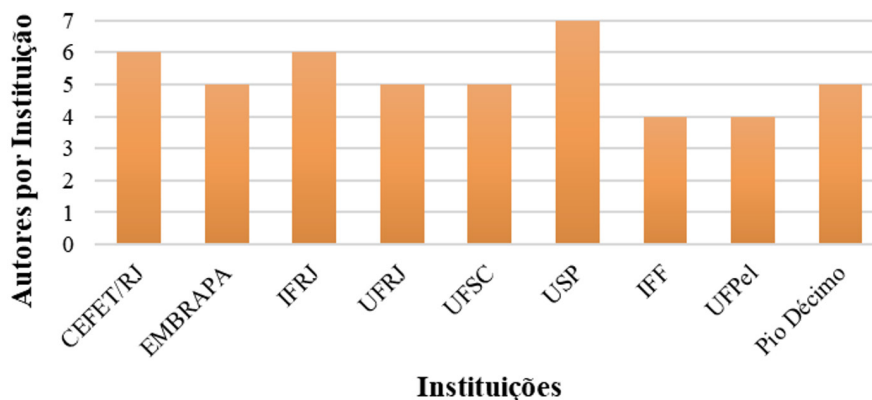


GRÁFICO 2. Autores por instituição. Fonte: autoria própria.

A Universidade de São Paulo (USP) manteve o destaque que havia apresentado no artigo base, possuindo o maior número de autores publicando. Além disso, destaca-se também o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) e o Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) com um número relevante de pesquisadores interessados em ensino de QV.

Por outro lado, ao avaliar a relevância das instituições na publicação desses artigos (Gráfico 3), nota-se um cenário diferente, com destaque para a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Foram consideradas para essa análise apenas as instituições que apresentaram 3 ou mais artigos publicados.

Os dados do Gráfico 3 mostram que a UFSC apresenta 8 artigos publicados em periódicos nacionais, fato relacionado aos resultados das pesquisas do professor Carlos Alberto Marques e seus colaboradores. O mesmo ocorre com a UFSCar e UEPG, respectivas instituições de vínculo das pesquisadoras Vânia Zuin e Marilei Mendes Sandri, autoras e coautoras de todos os manuscritos.

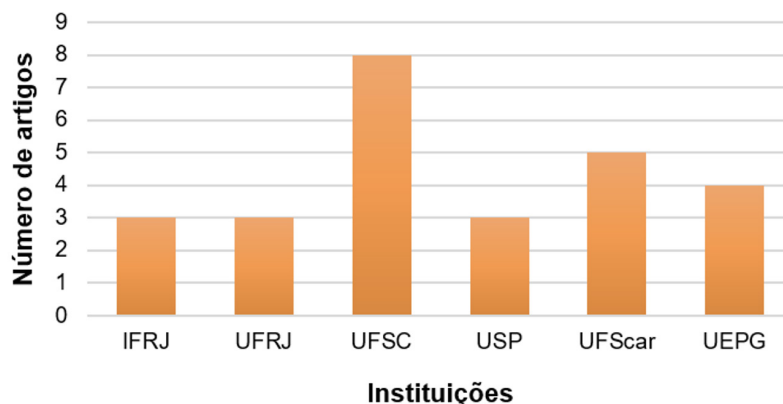


GRÁFICO 3. Número de artigos por instituição. Fonte: autoria própria.

Além dessa investigação, foram realizadas também análises de redes sociais dos autores desses artigos, bem como das palavras-chave escolhidas por eles. A primeira rede gerada pelo *NodeXL*, é a de autores, como é possível observar na Figura 1.

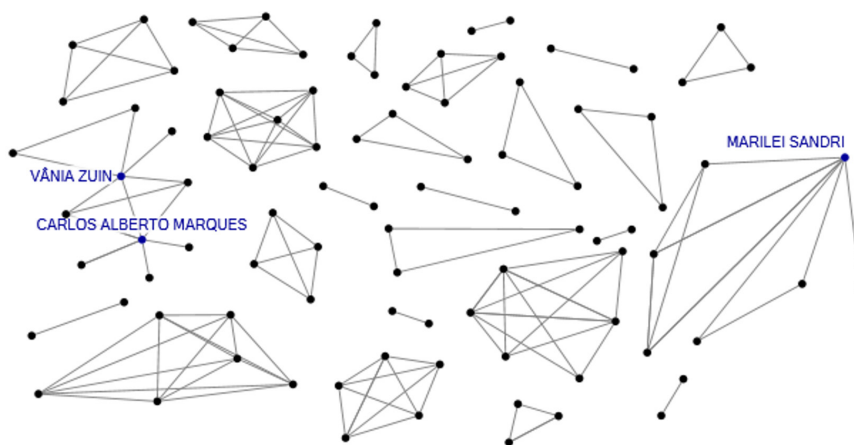


FIGURA 1. Rede social de autores. Fonte: autoria própria.

Created with NodeXL (<http://nodexl.codeplex.com>)

Comparado aos 77 autores totalizados na rede do artigo base, desta vez foi possível observar um aumento de apenas 5 autores envolvidos, resultando em um montante de 82 autores.

Trata-se de um resultado importante à medida que demonstra que em 4 anos o progresso do ensino de QV, ainda que seja consensualmente entendido como um processo lento, não reverberou significativamente na comunidade acadêmica relacionada, retratando majoritariamente os mesmos autores do primeiro mapeamento. As medidas de centralidade dos três autores de maior relevância nesta rede podem ser observadas na Tabela 1.

Autor	Medidas de centralidade		
	Grau de Entrada	Intermediação	Proximidade
Vânia Gomes Zuin	6	20,000	0,083
Carlos Alberto Marques	6	21,000	0,083
Marilei Casturina M. Sandri	6	11,000	0,167

TABELA 1. Medidas de centralidade para os autores. Fonte: autoria própria.

Os três autores cujos vértices foram representados em coloração azul apresentaram as maiores centralidades de grau de entrada desta rede, o que corrobora com a análise do Gráfico 3. Os vértices que os sucediam foram imediatamente suprimidos da análise, pois constituíam um conjunto extenso de autores com uma mesma medida de centralidade de grau e que, por isso, não agregariam valor analítico a este trabalho. Os destaques, assim, continuaram concentrados nos autores Vânia Gomes Zuin e Carlos Alberto Marques, dos quais a importância nesta rede é justificada por Brandão *et al.* (2018):

O primeiro é o professor Carlos Alberto Marques, do departamento de Metodologia de Ensino da Universidade Federal de Santa Catarina. Ele tem pós-doutoramento em Ensino da Química Verde e atuação ativa na área tanto no desenvolvimento de projetos de pesquisa quanto em produção bibliográfica. Em seguida, destaca-se a pesquisadora Vânia Zuin, professora do departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos, com extensa atuação na área de QV, inclusive na esfera internacional (...) (Brandão *et al.*, 2018, p. 66).

A atuação expressiva destes dois autores na produção acadêmica em torno do ensino de QV também se confirma pelas maiores medidas de centralidade de intermediação e proximidade observadas, posto que as suas publicações contêm parcerias com autores de diferentes instituições, estados e até países, promovendo assim vínculos mais estreitos e que conectam grupos de pesquisa heterogêneos entre si. Eles tanto fazem pontes entre temas e pesquisadores/instituições (Intermediação), quanto são capazes de relacionar-se rapidamente com os demais membros da rede (Proximidade).

No entanto, é importante observar que, com a mesma centralidade de grau de entrada dos dois autores acima mencionados, há também a pesquisadora Marilei Casturina Mendes Sandri. Atualmente, a professora é vinculada ao departamento de Química da Universidade Estadual de Ponta Grossa, tendo como linha de pesquisa o Ensino de Química Verde. Além disso, ela possui diversos projetos de pesquisa nessa mesma área, sendo um em parceria com o pesquisador Carlos Alberto Marques, potencializando sua relevância nas publicações analisadas.

Por fim, verificou-se a configuração dos vértices na rede social de palavras-chave contidas nas 41 publicações analisadas, registrada na Figura 2.

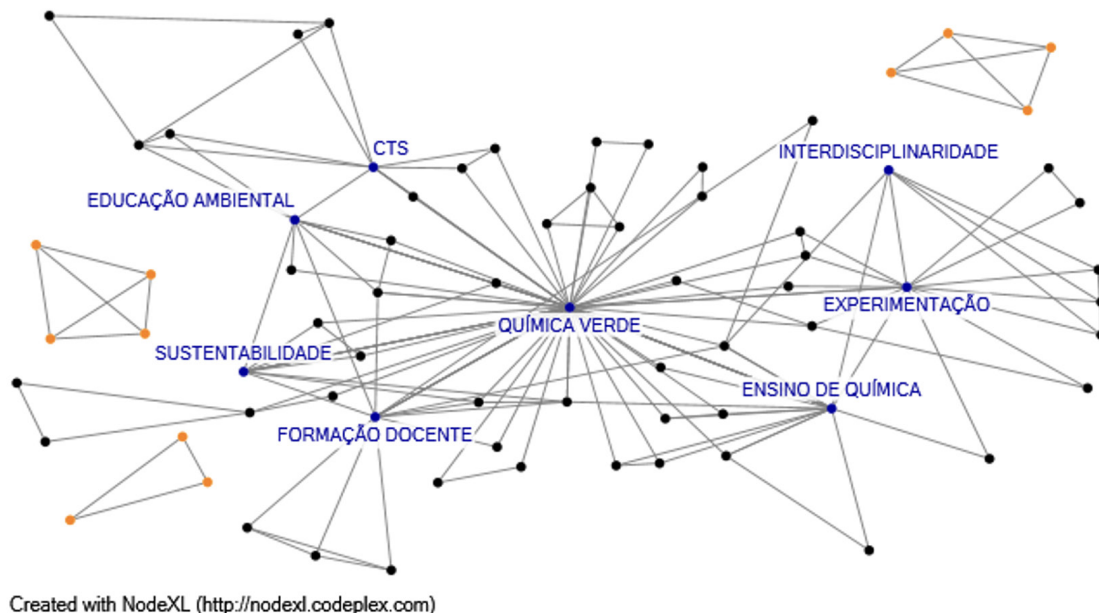


FIGURA 2. Rede social das palavras-chave. Fonte: autoria própria.

O presente mapeamento alcançou a marca de 72 palavras-chave normalizadas. Para melhor visualização dos vértices que serão esmiuçados, optou-se por alterações nas suas propriedades gráficas. As oito (8) palavras-chave de maior centralidade de grau manifestam uma coloração azul e representam os temas tratados com relevância pelos artigos identificados. Para as redes desconexas, ou seja, conjuntos de palavras-chave que só se relacionam entre si, optou-se pelo seu posicionamento nas fronteiras da rede e identificação gráfica pela coloração laranja.

A presença de redes desconexas neste caso pode ser um indicativo de escolhas inadequadas de palavras-chave, visto que, apesar de seus artigos correspondentes tratarem do ensino de QV, o conjunto de palavras-chave adotado não contribui para a propagação de informações e conseqüente crescimento da rede a longo prazo. Além disso, redes deste tipo contribuem para evidenciar algumas vertentes pouco exploradas nas pesquisas da área, a exemplo das palavras-chave “currículo”, “ensino da química verde” e “educação profissional”.

A ARS desses termos calcula medidas de centralidade de grau que, em conjunto com o grafo, possibilitam inferir sobre os resultados. Nesta pesquisa, avaliou-se para as 8 palavras-chave, as suas respectivas medidas de centralidade de grau de entrada, intermediação e proximidade, como consta na Tabela 2.

Palavra-chave	Medidas de centralidade		
	Grau de Entrada	Intermediação	Proximidade
Química Verde	41	1426,9	0,012
Experimentação	14	335,6	0,008
Ensino de Química	13	131,5	0,008
Formação Docente	12	214,7	0,008
Educação Ambiental	9	109,3	0,007
CTS	9	189,5	0,007
Sustentabilidade	9	17,3	0,007
Interdisciplinaridade	8	24,2	0,006

TABELA 2. Medidas de centralidade para as palavras-chave. Fonte: autoria própria.

Ao analisar os dados da Tabela 2 paralelamente ao grafo gerado e disposto na Figura 2, é evidente a notoriedade que as palavras-chave “Química Verde” e “Ensino de Química” apresentam nesta rede social, uma vez que a busca de artigos foi realizada a partir da expressão “Química Verde” e filtrada para periódicos voltados para a área de ensino. Sendo assim, a alta centralidade de grau de entrada que estes vértices apresentam converge com o objetivo desta pesquisa e configura-se como um resultado que já era esperado, assim como foi observado no primeiro mapeamento (Brandão *et al.*, 2018).

Em comparação ao artigo base, entretanto, identificou-se que nesta atualização do mapeamento a palavra-chave “Experimentação”, antes ausente entre as 8 palavras-chave de maior centralidade de grau de entrada, ocupa a segunda posição da lista (Tabela 3). É possível que essa aparição tenha ocorrido por ser uma temática mais abrangente e comum a muitas vertentes na própria Química. Em adição, sabendo-se que a QV emerge em um cenário exclusivamente industrial e empírico, alicerçado pelos 12 princípios elaborados por Anastas e Warner (1998), a experimentação torna-se um campo prático e porta de entrada para a inserção direta da temática.

Posição	Palavras-chave	
	1° Mapeamento (2007 - 2017)	2° Mapeamento (2017 - 2022)
1	Química Verde	Química Verde
2	Ensino de Química	Experimentação
3	Formação Docente	Ensino de Química
4	Sustentabilidade	Formação Docente
5	Biocombustível	Educação Ambiental
6	Contextualização	CTS
7	Educação Ambiental	Sustentabilidade
8	CTS	Interdisciplinaridade

TABELA 3. Comparação entre as palavras-chave de maior relevância dos mapeamentos. Fonte: autoria própria.

Mendes (2018) e Gonçalves *et al.* (2017) consideram oportuno estudar QV numa perspectiva experimental, destacando a importância de se utilizar esse espaço para promover discussões que envolvam coleta e análise de dados, bem como a formulação de hipóteses. Além disso, essa abordagem ultrapassa à prática dos princípios, possibilitando estudar outros tópicos como métricas de QV e segurança química. O que se vê, em contrapartida, em revistas iberoamericanas renomadas que investigam a didática em ciências experimentais é o oposto. Franco Moreno e Ordoñez Carlosama (2020), em uma análise bibliométrica de 2002 a 2018, apuraram que, das 39 publicações que versam sobre a QV encontradas em 6 revistas estudadas, 29 apresentavam um enfoque experimental no cumprimento e desenvolvimento dos princípios em processos industriais.

Outro ponto importante de ser observado na Tabela 2 é o alto valor das medidas de centralidade de intermediação das duas primeiras palavras-chave. Esse resultado mostra que esses termos são utilizados em artigos que versam sobre diversos assuntos no universo do ensino de Química e/ou da experimentação, agindo como pontes e interligando esses trabalhos. Isso é importante para conectar publicações que, inicialmente, não teriam nenhuma relação direta, mas são conectadas por uma temática mais ampla, como as retratadas nas palavras-chave mencionadas.

Esse fato é corroborado, também, pelos altos valores de centralidade de proximidade, sendo vértices evidenciados de maneira mais central na rede da Figura 2. Em se tratando de palavras-chave, isso indica que estas conseguem propagar as informações pelas vias mais acessíveis, ou seja, o caminho mais curto na rede.

É possível identificar ainda duas palavras-chave que também não apareceram no mapeamento do artigo base e estão presentes no grafo, como mostra a Tabela 3. Os termos “Educação Ambiental” e “Interdisciplinaridade” ocupam, respectivamente, a 5ª e 8ª posições em relação à centralidade de grau, e possuem relação direta com os demais itens da lista.

Conforme o artigo 2.º da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), instituída em 1999, “a educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal” (Brasil, 1999, p.1). Dessa maneira, fica evidente que os conceitos de QV estão inseridos nesse contexto e precisam ser disseminados desde o ensino básico.

Além disso, a articulação dessas concepções reflete-se em um ensino interdisciplinar, justificando a aparição da palavra-chave “interdisciplinaridade” neste mapeamento. É importante mencionar, ainda, que o acrônimo “CTS” aumentou a sua relevância perante o artigo base, e essa abordagem também pressupõe um viés interdisciplinar. Sobre essa palavra-chave, entende-se que a apropriação dos conceitos de QV no ensino de química através da abordagem CTS é um caminho muito frutífero, visto que

a contextualização do ensino de Química com o enfoque CTSA, corrobora com o que Santos (2007) defende: a) o desenvolvimento de atitudes e valores em uma perspectiva humanística diante das questões sociais relativas à ciência e à tecnologia; b) que a contextualização auxilia na aprendizagem de conceitos científicos e de aspectos relativos à natureza da ciência; c) encoraja os alunos a relacionar suas experiências escolares em ciências com problemas do cotidiano (Mello *et al.*, 2019, p. 28).

Conclusões

A QV, enquanto perspectiva sustentável para o ensino de química, evidencia-se como campo promissor e em construção pelos resultados obtidos. O salto notório do número de publicações em um curto intervalo de tempo, verificado nesta atualização do mapeamento de publicações, reforça que a convergência entre essas áreas (ensino e QV) tem se expandido ao longo dos anos. Corroborando com esse fato, averiguou-se uma maior pluralidade de instituições envolvidas nas publicações desta área, resultando inclusive em um corte metodológico mais rigoroso —mínimo de 4 autores por instituição frente aos 2 estabelecidos no artigo base— para registro no gráfico a ser analisado.

Todavia, o número de autores contabilizado nos dois mapeamentos aumentou discretamente. Esse fato expõe que as publicações, desde o primeiro mapeamento, estão sendo produzidas basicamente pelo mesmo grupo de autores. Com isso, surge a necessidade latente de novos atores sociais e respectivos grupos de pesquisa para que se consiga diluir essa centralidade de produções e disseminar a pesquisa acadêmica em ensino de QV a nível nacional. Um trabalho de fomento e indução do tema QV junto à comunidade de ensino de ciências deve ser visto como relevante para sua divulgação e futura consolidação.

Mais uma vez, a Análise de Redes Sociais mostrou-se largamente vantajosa para examinar as vias adotadas atualmente no meio acadêmico para a propagação do ensino de QV, tendo em vista que permitiu a extração de dados quantitativos —e suas implicações qualitativas— de um montante extenso de publicações. A rede social de palavras-chave, por exemplo, revelou que a já sabida apropriação do enfoque CTS como elo entre a QV e o ensino de química tem se tornado cada vez mais fecunda entre os pesquisadores da área (Bouzon, 2022; Brandão, 2022). Em contrapartida, este grafo também notabilizou que a alta frequência de redes desconexas permanece presente no mapeamento atualizado, reafirmando o isolamento das publicações relacionadas frente às pesquisas bibliográficas em ensino da QV. Esse dado permite inferir que os pesquisadores representados pela rede possuem pouca interação, quando a métrica é a identificação de temas por meio das palavras-chave.

Já a rede social de autores ratificou o resultado obtido no artigo base, demonstrando a importância que Vânia Gomes Zuin e Carlos Alberto Marques apresentam no fortalecimento desta área. Entretanto, é importante mencionar que atualmente a professora Marilei Casturina Mendes Sandri também se apresenta como um ente relevante na rede de disseminação desta área.

Sendo assim, é perceptível que o cenário brasileiro de publicações do ensino de QV, apesar de se mostrar ascendente, ainda é concentrado nos mesmos pesquisadores e instituições. Assim como previsto na PNEA, é preciso que a educação ambiental seja incorporada na formação, especialização e atualização dos educadores para que isso se torne uma prática nas turmas de ensino básico (Brasil, 1999), especialmente no ensino de química. Trata-se, então, de um passo importante para o esverdeamento do ensino de química corrente e consequente incorporação dos seus princípios enquanto cultura naturalizada pelos docentes e, como efeito, pelos discentes.

Referências

- Albuquerque, M., Melo, T. B., Silva, M. A. F. B. & Chrispino, A. (2016). As Contribuições da Análise de Redes Sociais nas Pesquisas do Ensino de Ciências no Brasil. *Indagatio Didactica*, 8(1), 46 – 60.
- Anastas, P. T. & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. [s.l.] New York: Oxford University Press.
- Anastas, P. T. & Williamson, T. C. (1996). Green Chemistry: An Overview. *ACS Symposium Series*, 626, 1-17.
- Anastas, P. T. & Zimmerman, J. B. (2019). The periodic table of the elements of green and sustainable chemistry. *Green Chemistry*, 0(1-3), 1-21.
- Brandão, J. B. (2022) *Ensino de Química Verde no Ensino Médio e Técnico com enfoque na experimentação e abordagem CTS*. [Tese de doutoramento não publicada. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca].
- Bouzon, J. D. (2022). *Química Verde por meio da abordagem CTS: a construção e aplicação de uma disciplina em um curso de formação de professores*. [Tese de doutoramento não publicada. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca].

- Brandão, J. B., Bouzon, J. D., Santos, T. C., Pereira, V. & Chrispino, Á. (2018). Mapeamento de publicações sobre o ensino da química verde no Brasil a partir de redes sociais. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 14(30), 59 – 76.
- Brasil. (1999). *Lei n.º 9.795, de 28 de abril de 1999*. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília: Senado Federal. Consultada em 25 mar. 2021, na URL <https://legis.senado.leg.br/norma/551671/publicacao/15716732>.
- Farias, L. A. & Fávaro, D. I. T. (2011). Vinte años de química verde: conquistas e desafios. *Química Nova*, 34(6), 1089-1093.
- Franco Moreno, R. A. & Ordoñez Carlosama, L. Y. (2020) El enfoque de Química Verde en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. Su abordaje en revistas iberoamericanas: 2002-2018. *Educación Química*, 31(1), 84-104.
- Gil-Pérez, D. & Vilches, A. (2022). Necesidad de um nuevo impulso a la Transición a la Sostenibilidad. *Projeto: Educación para la Sostenibilidad como componente de la Ciencia de la Sostenibilidad*.
- Gonçalves, F. P., Yunes, S. F., Guaita, R. I., Marques, C. A., Pires, T. C. M, Pinto, J. R. M & Machado, A. A. S. C. (2017). La dimensión ambiental de la experimentación em la enseñanza de la química: consideraciones sobre el uso de la métrica holística <<estrella verde>>. *Educación Química*, 28, 99-106.
- Lenardão, E. J., Freitag, R. A., Dabdoub, M. J., Batista, A. C. F. & Silveira, C. C. (2003). “Green chemistry” - Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, 26(1), 123-129.
- Machado, A. A. S. C. (2011). Da gênese ao ensino da química verde. *Química Nova*, 34(3), 535-543.
- Marques, C. A., Silva, R. M. G., Gonçalves, F. P., Fernandes, C. S., Sangiogo, F. A. & Regiani, A. M. (2013). A abordagem de questões ambientais: Contribuições de formadores de professores de componentes curriculares da área de ensino de química. *Química Nova*, 36(4), 600-606.
- Mendes, M. (2018). *Experimentos de química geral na perspectiva da química verde*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Mello, F., Gomes, S. I. A. A., Giusti, E. D., Sandri, M. C. M. & Robaert, S. (2019). Determinação do grau de saponificação de óleo residual: uma experiência no ensino de Química sob as perspectivas CTSA e Química Verde. *Educación Química*, 30(1), 21-30.
- Roloff, F. B. & Marques, C. A. (2018). Contribuições de produções acadêmicas nacionais sobre Química Verde e seu ensino. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 14(32), 78-91.
- Sandri, M. C. M. & Marques, C. A. (2021). O ensino da química verde: possíveis abordagens. In: *Encontro do Centro-Oeste de Debates sobre o Ensino da Química*, 18, 2021. Matogrosso: Universidade Federal do Mato Grosso.

- Sandri, M. C. M., Santin Filho, O. (2019). Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química. *Educación Química*, 30(4), 34-46.
- Santos, W. L. P. (2007). Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. *Ciência & Ensino*, 1, n. esp., 1-12.
- Souza, A. C. S., Sampaio, R. L., Macedo, M. C. F. & Fonseca, P. V. O. (2019). Análise de redes sociais: uma abordagem prática. Salvador: Edufba.

Anexo

Anexo 1 – Lista de artigos mapeados

- Aguiar, N. V. V.; Sant’ana, A. L. & Matos, A.P. (2015). Aplicação de Conceitos da Química Verde em uma Atividade Curricular de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão: relato de experiência a partir da UFSCar. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 10(2), 89 – 95.
- Almeida, G. A. V.; Silva, L. M.; Marchão, R. L.; Wadt, P. G. S.; Souza, A. M. & Oliveira, L. C. (2016). Métodos Kjeldahl, elementar e o potencial da espectroscopia do infravermelho próximo para determinação de nitrogênio em solos da bacia do Acre. *Biota Amazônia*, 6(4), 38 – 43.
- Almeida, Q. A. R., Silva, B. B., Silva, G. A. L., Gomes, S. S. & Gomes, T. N. C. (2019). Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 15(34), 178 – 187.
- Almeida, Q. A. R. & Silva, G. A. L. (2019). Química Verde em métodos sintéticos: aplicação de novas metodologias experimentais na formação de professores de química. *Experiências em Ensino de Ciências*, 14(3), 289 – 304.
- Antunes Filho, S. & Backx, B. P. (2020). Nanotecnologia e seus impactos na sociedade. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(40), 1-15.
- Bolzan, J. A., Gomes, S. I. A. A. & Sandri, M. C. M. (2020). Extração do paracetamol comprimidos: uma técnica verde para o ensino de química farmacêutica. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 13(1), 216 – 239.
- Brandão, J. B., Bouzon, J. D., Alvarenga, S. D. S & Chrispino, Á. (2019). Estudo sobre os conceitos da química verde numa escola de ensino médio e técnico integrado. *Ciência em tela*, 12(2), 1-13.
- Brandão, J. B., Bouzon, J. D., Santos, T. C., Pereira, V. & Chrispino, Á. (2018). Mapeamento de publicações sobre o ensino da química verde no Brasil a partir de redes sociais. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 14(30), 59 – 76.
- Castro, D. L. & Reis, R. C. (2012). Química Verde: uma nova visão da Química na opinião de alunos e professores do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 7, 81 – 91.

- Coelho, J. C. & Marques, C. A. (2007). Contribuições freireanas para a contextualização no ensino de Química. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(1), 49 – 61.
- Coelho, J. C. & Marques, C. A. (2007). A chuva ácida na perspectiva de tema social: um estudo com professores de Química. *Química Nova na Escola*, v.25, 14 – 19.
- Correa Neto, M. V., Souza, K. C., Massante, F. F., Coelho, A. H. H., Ponzio, E. A. & Resende, J. A. L. C. (2020). Efeitos do reforço na pasta de cimento Portland com óxido de grafeno obtido por métodos de química verde. *Revista matéria*, 25(4), 1-14.
- Cortes Jr, L. P.; Corio, P. & Fernandez, C. (2009). As representações sociais de química ambiental dos alunos iniciantes na graduação em química. *Química Nova na Escola*, 31(1), 46 – 54.
- Domingues, L. A., Magalhães, C. G. & Sandri, M. C. M. (2022). Síntese do Ácido Acetilsalicílico: Uma proposta para Laboratórios de Graduação empregando a Química Verde. *Química Nova na Escola*, 44(2), 105 – 114.
- Eilks, I., Sjöström, J. & Zuin, V. G. (2017). The Responsibility of Chemists for a better world: challenges and potentialities beyond the lab. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 12(1), 97 – 106.
- Farias, L. A. & Di Taglia, B. B. (2013) Representações sociais em torno dos termos indutores “educação ambiental” e “abordagem CTS/CTSA” entre professores do ensino médio de uma escola da rede pública de Diadema. *Educação Ambiental em Ação*, 12(45), 1-14.
- Ferreira, A. D. Q. & Nascimento, A. C. S. (2018). Edta e química verde: de aspectos do seu ciclo de vida aos novos quelantes mais seguros. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 13(1), 87 – 100.
- Gomes, C. J. C. & Zuin, V. G. (2019). Sapere aude: a química verde como possibilidade à formação emancipatória dos sujeitos. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 14(1), 71 – 82.
- Gomes, L. S.; Andrade, J. R.; Leal, A. B. A. & Nunes, R. C. (2022). Panorama da inclusão dos conceitos de química verde nas licenciaturas em química dos institutos federal. *Revista de Educação Ambiental*, 27(1), 1-24.
- Homem-de-Mello, P. & Omori, A. T. (2017). Práticas de química verde: ensinando química verde através de experimentos da UFABC. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 12, 71 – 82.
- Jacob, R. G., Silva, M. S., Hartwig, D. & Lenardão, E. J. (2022). Educação Ambiental nos cursos de Química da UFPel através da Química Verde. *Química Nova na Escola*, 44(2), 173 – 182.
- Leal, A. L. & Marques, C. A. (2008). O conhecimento químico e a questão ambiental na formação docente. *Química Nova na Escola*, v.29, 30 – 33.
- Martins, F. & Amaral, C. L. C. (2015). Diagnóstico da disciplina química ambiental nos cursos de graduação em química do estado de São Paulo. *Pesquisa em Educação Ambiental*, 10(2), 36 – 44.

- Mateus, A. L. M. L., Machado, A. H. & Aguiar, P. A. (2019) Tabela de Tempo de Decomposição de Materiais: Contexto para a Abordagem de Química Ambiental no Ensino Profissional de Nível Médio. *Química Nova na Escola*, 41(3), 259 – 265.
- Melin, G. R., Costa, S. A. & Araújo, M. C. (2011). Processos sustentáveis e conhecimento sobre Química Verde em pequenas empresas do setor de beneficiamento têxtil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 7(12), 1-8.
- Melo, M. R. & Villani, A. (2016). A evolução de uma professora na formação de licenciandos de Química numa perspectiva sócio-ambiental. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(2), 291 – 315.
- Melo, M. R.; Villani, A. & Santos, W. B. (2014). A Química Verde como Referencial Científico para Mediação de Ensino na Perspectiva CTSA em Cursos de Formação de Professores de Química. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 9(1), 91 – 107.
- Mello, F., Gomes, S. I. A. A., Sandri, M. C. M. & Bolzan, J. A. (2018). Proposta didática para obtenção de ácido acetilsalicílico sob a perspectiva da Química Verde. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 13(2), 63 – 71.
- Pitanga, Â. F. (2016). Crise da modernidade, educação ambiental, educação para o desenvolvimento sustentável e educação em química verde:(re) pensando paradigmas. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(3), 141 – 159.
- Roloff, F. B. & Marques, C. A. (2018). Contribuições de produções acadêmicas nacionais sobre Química Verde e seu ensino, *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 14(32), 78 – 91.
- Rüntzel, P. L. & Marques C. A. (2022). Ambiente temático virtual de Química Verde para simulações de sínteses no Ensino de Química na perspectiva do desenvolvimento sustentável. *Química Nova na Escola*, 44(2), 183 – 193.
- Sandri, M. C. M. & Filho, O. S. (2016). Implicações da Inserção da Química Verde na Formação Inicial de Professores de Química. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 11(1), 111 – 125.
- Santos, K. D.; Neto, J. M. M. & Sousa, P. A. A. (2013). Química e educação ambiental: uma experiência no ensino superior. *Química Nova na Escola*, São Paulo, 35(1), 1-7.
- Santos, K. M. S., Lima, L. M. A., Santos, T. S. & Pitanga, A. F. (2021). Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, 43(4), 411 – 417.
- Santos, T. N. P, Batista, C. H. Oliveira, A. P. C. & Cruz, M. C. P. (2018). Aprendizagem Ativo-Colaborativo-Interativa: Inter-Relações e Experimentação Investigativa no Ensino de Eletroquímica. *Química Nova na Escola*, 40(4), 258 – 266.
- Silva Júnior, C. A. & Figueirêdo, A. M. T. A. (2018). Química Verde – “Fator E”: Atividade Lúdica em uma Turma Inclusiva. *Revista Educação Ambiental em Ação*, 16(63), 1-22.
- Silveira, G., Ikegaki, M. & Silva, J. M. S. F. (2017). Biocélula a combustível de baixo custo para investigação do metabolismo energético. *Revista de Ensino de Bioquímica*, v.15, 155 – 161.

- Ventapane, A. L. & Santos, P. M. L. (2021). Aplicação de princípios de Química Verde em experimentos didáticos: um reagente de baixo custo e ambientalmente seguro para detecção de íons ferro em água. *Química Nova na Escola*, 43(2), 201 – 205.
- Zuin, V. G.; Marques, C. A.; Roloff, F. B. & Vieira, M. S. (2015) Desenvolvimento Sustentável, Química Verde e Educação Ambiental: o que revelam as publicações da SBQ. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 10(1), 79 – 90.
- Zuin, V. G. (2013). A inserção da Química Verde nos programas de pós-graduação em Química do Brasil: tendências e perspectivas. *RBPG: Revista Brasileira de Pós-Graduação*, 10(21), 557 – 573.
- Zuin, V. G. (2013). A dimensão ambiental e a Química Verde na formação inicial de professores de Química: reflexões a partir de um estudo de caso. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 8(2), 69 – 82.