



ORGANIZADORES

MARILEI CASTURINA MENDES SANDRI
CARLOS ALBERTO MARQUES
LEONARDO VICTOR MARCELINO
CÁSSIA GONÇALVES MAGALHÃES

QUÍMICA VERDE

PROPOSTAS, EXPERIÊNCIAS DE
ENSINO E REFLEXÕES PARA A
FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Texto e Contexto
EDITORA

Marilei Casturina Mendes Sandri
Carlos Alberto Marques
Leonardo Victor Marcelino
Cássia Gonçalves Magalhães
(organizadores)

QUÍMICA VERDE:

propostas, experiências de ensino e
reflexões para a formação de professores

Texto e Contexto

EDITORA

2023© Marilei Casturina Mendes Sandri; Carlos Alberto Marques; Leonardo Victor Marcelino; Cássia Gonçalves Magalhães

TEXTO E CONTEXTO

Diretora e editora-chefe: Rosenéia Hauer

Projeto gráfico e diagramação: Equipe Texto e Contexto

Supervisão editorial: Josie Aghata Parrilha da Silva

Capa - Arte Final de Gabriel da Silva Lima

Q6 Química verde: propostas, experiências de ensino e reflexões para a formação de professores [livro eletrônico]/ organizado por Marilei Casturina Mendes Sandri et al. Ponta Grossa: Texto e Contexto, 2023.

232 p.; il.; E-book PDF Interativo

ISBN: 978-85-94441-81-2

1. Química - ensino. 2. Professor - formação. 3. Química verde. I. Sandri, Marilei Casturina Mendes et al. II. T.

CDD: 540

Ficha Catalográfica Elaborada por Maria Luzia Fernandes Bertholino dos Santos – CRB9/986

APOIO:



“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”

Texto e Contexto
—
EDITORA

www.textoecontextoeditora.com.br
(42) 988834226
contato@textoecontextoeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL:

Presidente:

Dr^a. Larissa de Cássia Antunes Ribeiro (Unicentro)

Membros:

Dr. Fábio Augusto Steyer (UEPG)

Dr^a. Silvana Oliveira (UEPG)

Doutorando Anderson Pedro Laurindo (UTFPR)

Dr^a. Marly Catarina Soares (UEPG)

Dr^a. Naira de Almeida Nascimento (UTFPR)

Dr^a Letícia Fraga (UEPG)

Dr^a. Anna Stegh Camati (UNIANDRADE)

Dr. Evanir Pavloski (UEPG)

Dr^a. Eunice de Moraes (UEPG)

Dr^a. Joice Beatriz da Costa (UFFS)

Dr^a. Luana Teixeira Porto (URI)

Dr. César Augusto Queirós (UFAM)

Dr. Valdir Prigol (UFFS)

Dr^a. Clarisse Ismério (URCAMP)

Dr. Nei Alberto Salles Filho (UEPG)

Dr^a Ana Flávia Braun Vieira (UEPG)

Dr. Marcos Pereira dos Santos (UTFPR)

Sumário

Prefácio	7
Apresentação	9
Química Verde: possibilidades para a formação inicial de professores	12
Marilei Casturina Mendes Sandri	
Propostas didáticas feitas em um curso de formação de professores para a inserção da Química Verde por meio da Abordagem CTS no ensino básico	32
Júlia Damazio Bouzon	
Juliana Barreto Brandão	
Alvaro Chrispino	
Relato de vivências no âmbito da Química Verde no curso de Química do Instituto Federal do Paraná - campus Palmas	71
João Paulo Stadler	
Sandra Inês Adams Angnes Gomes	
A Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável na Perspectiva da Formação de Professores de Química: O que, como e por que ensinar?	97
Carlos Alberto da Silva Júnior	
Dosil Pereira de Jesus	
Gildo Giroto Júnior	
O Ambiente Temático Virtual de Química Verde para o Ensino da Química	128
Patricia Link Rüntzel	
Carlos Alberto Marques	

Experimentação em Química Verde: relato de uma experiência no ensino médio e técnico	156
Juliana Barreto Brandão	
Júlia Damazio Bouzon	
Alvaro Chrispino	
 Proposta didática para obtenção de ácido acetilsalicílico sob a perspectiva da Química Verde	 200
Flávia de Mello	
Juliana Aparecida Bolzan	
Marilei Casturina Mendes Sandri	
Sandra Inês Adams Angnes Gomes	
 Sobre os autores	 229

Prefácio

O presente livro divulga algumas atividades de ensino da Química Verde (QV) no Brasil, tendo como objetivo fundamental estimular o seu desenvolvimento no país, aos seus diversos níveis, embora priorizando a Educação Básica. A expansão desta “via verde” de ensino da química tem sido lenta a nível mundial porque, sendo complexa, envolve enormes desafios – pelo que a sua divulgação é importante para vencer as diversas barreiras que se opõem ao avanço da QV e sua aprendizagem. A Educação Básica é a área mais propícia para implementar esta finalidade, já que possibilita uma penetração precoce na QV, o que permite maior eficácia no ensino: além de viabilizar a acumulação de sucessivos acréscimos de conhecimento do campo ao longo do tempo de aprendizagem, facilita também o entrosamento da química na realidade socio-ambiental que tão afetada é, para o bem e para o mal, pelos numerosos produtos químicos fabricados pela química industrial – já que estes são avidamente usados pela sociedade, mas provocam variados efeitos nefastos no ambiente e na saúde humana (e da biosfera em geral). Presentemente, estas complexas interações química-sociedade-ambiente não podem ser ignoradas no ensino da química – e a QV suporta naturalmente a sua abordagem.

A produção de um livro com o referido objetivo de divulgação não é uma tarefa fácil para os organizadores porque há quase sempre limitações quanto à disponibilidade (ou mesmo, à existência) de autores desejáveis para contribuírem com textos relevantes (e, frequentemente, quanto ao tamanho do texto). Os organizadores do presente texto têm um bom conhecimento dos variados estudos publicados sobre o ensino da QV no Brasil,¹ e o título do livro, *Química Verde – Propostas, experiências de ensino e reflexões para a formação de professores*, mostra que procuraram ultrapassar as dificuldades referidas acima restringindo o tema abordado. Os

1. Ver, por exemplo: M. C. M. Sandri, E. D. S. Dias, L. V. Marcelino, E. M. Fonseca, C. A. Marques, *Panorama sobre produções voltadas ao Ensino de Química Verde no Brasil: incursões metodológicas*, em *Anais do XXI Encontro Nacional de Ensino de Química – ENEQ 2022* (2023).

sete temas selecionados constituem um todo pedagógico variado e equilibrado, que engloba componentes teóricas e experimentais diversificadas, o que permitirá a leitores com interesses díspares apreciar a leitura do texto, sentir a importância da QV e começar a interessar-se pelo seu ensino – afinal o principal objetivo do livro.

Adélio Machado

Apresentação

A Química Verde (QV), surgida na década de 1990, corresponde a uma resposta aos problemas ambientais causados pelas práticas convencionais da Química no âmbito da Prevenção da Poluição. Desde sua emergência, a difusão dos princípios e filosofia da QV são requeridos para a formação de químicos de todos os segmentos de atuação, sendo que essa demanda **é ainda** mais premente na formação de professores devido à necessidade de estender as discussões das questões ambientais e de sustentabilidade à Educação Básica.

No Brasil, as publicações voltadas ao Ensino da QV (EQV) são poucas e demonstram a incipiência dessa temática, seja no Ensino Superior ou na Educação Básica¹. Diante disso, ressalta-se a importância de uma obra que reúne trabalhos dedicados ao EQV e que oportunizam reflexões, propõem estratégias de ensino, trazem relatos exitosos e apresentam pesquisas realizadas em diferentes contextos e instituições, de modo a fomentar e inspirar ações de promoção dessa temática. É com essa intenção que apresentamos a obra **“Química Verde: propostas, experiências de ensino e pressupostos teóricos para a formação de professores”**, destinada a licenciandos e professores de Química que intencionam conhecer a QV e viabilizá-la em seu ensino na Educação Básica ou Ensino Superior.

Considerando a carência de obras literárias em língua portuguesa que abordem a QV e, mais especificamente seu ensino, este livro buscou compilar trabalhos de pesquisadores (as), professores (as) e pós-graduandos (as) que têm se dedicado em aprofundar conhecimentos acerca do ensino da QV e torná-la realidade dentro dos seus contextos de ensino. A obra reúne trabalhos inéditos ou já publicados, que giram em torno do objetivo de discutir e promover a QV na formação de professores e sua extensão à Educação Básica.

1. SANDRI, *et al.* Panorama sobre produções voltadas ao Ensino de Química Verde no Brasil: incursões metodológicas. In: **Anais do XXI Encontro Nacional de Ensino de Química – ENEQ**, 2023.

Os trabalhos incluem reflexões teóricas, relatos de experiências e estudos empíricos.

Para tanto, no primeiro capítulo, **“Química Verde: possibilidades para a formação inicial de professores”**, Sandri discute acerca da transversalização da QV nos currículos das licenciaturas, a fim de apontar as possibilidades de abordagem dos princípios da QV em diferentes componentes curriculares da grade curricular dos cursos de Química, sejam eles de formação específica em Química ou de formação docente, como as Práticas como Componentes Curriculares (PCC).

Também preocupados com uma formação docente em química capaz de colocar a relação homem-natureza em pauta no ensino de Química, o capítulo **“Propostas didáticas feitas em um curso de formação de professores para a inserção da Química Verde por meio da Abordagem CTS no ensino básico”** de Bouzon, Brandão e Chrispino, reporta as ações realizadas numa disciplina criada e aplicada em um curso de especialização em Ensino de Química. O trabalho evidencia a relevância da formação continuada de professores como espaço profícuo para inserir a QV e sanar lacunas da formação inicial no tocante a essa temática e mostra como os professores conseguem elaborar propostas que favorecem um ensino crítico por meio da abordagem CTS, contornando as dificuldades de rigidez curricular da Educação Básica.

No terceiro capítulo, **“Relato de vivências no âmbito da Química Verde no curso de Química do Instituto Federal do Paraná - campus Palmas”**, os autores Stadler e Gomes, narram o trabalho gradativo e persistente de inserção da QV no curso de Licenciatura daquela instituição, por meio de alterações curriculares e desenvolvimento de projetos de pesquisa, mostrando caminhos possíveis para viabilizar a QV em ações e discussões que abrangem o tripé ensino-pesquisa-extensão.

No quarto capítulo **“Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável na Perspectiva da Formação de Professores de Química: O que, como e por que ensinar?”**, Da Silva Junior e colaboradores, trazem reflexões e apontamentos acerca das potencialidades

da Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável (TPQVS), proposta por Anastas e Zimmerman no Ano Internacional da Tabela Periódica (2019), como um recurso interdisciplinar para o ensino e a aprendizagem de QV na formação docente. A TPQVS amplia as possibilidades de pensar o ensino da QV e, de acordo com os autores, pode servir de inspiração para abordagens sistêmicas, criativas e inovadoras desse tema na área educacional.

Nos três últimos capítulos do livro são apresentadas possibilidades do ensino de QV para a Educação Básica e Ensino Superior por meio de recursos tecnológicos, experimentação aliada a abordagem CTS e experimentação associada às métricas de QV. Assim, o trabalho **“O Ambiente Temático Virtual de Química Verde para o Ensino da Química”** de Rüntzel e Marques, apresenta os fundamentos, a estrutura e os objetivos desse espaço virtual de acesso gratuito, que tem por objetivo servir como ferramenta pedagógica voltada ao ensino da Química, na perspectiva da QV e da sustentabilidade ambiental. Já no capítulo intitulado **“Experimentação em Química Verde: relato de uma experiência no ensino médio e técnico”** Brandão e colaboradores descrevem um curso de extensão voltado a estudantes de uma instituição pública federal, com os quais foram realizadas atividades experimentais contextualizadas por meio de temas sociais e que foram articulados a conceitos de QV. Por fim, o artigo **“Proposta didática para obtenção de ácido acetilsalicílico sob a perspectiva da Química Verde”** de Mello *et al.*, propõe um experimento alternativo para a síntese do AAS a partir do aquecimento por irradiação micro-ondas com forno doméstico, avaliado sob as métricas da QV, que permite incluir práticas mais sustentáveis e seguras na formação acadêmica, além de fomentar a avaliação crítica de protocolos experimentais por meio de métricas.

Diante dessa breve apresentação, esperamos que a obra, enriquecida com contribuições de pesquisadores e pesquisadoras de várias instituições brasileiras, possa fornecer subsídios e inspirar mais iniciativas de inserção da QV nos currículos de formação docente em nosso país, bem como sua ampliação para a Educação Básica.

Química Verde: possibilidades para a formação inicial de professores¹

Marilei Casturina Mendes Sandri

Introdução

O conceito de Química Verde (QV), estabelecido por Anastas e Warner (1998, p.11) afirma que esta se refere ao “desenho, desenvolvimento e aplicação de processos e produtos que sejam pouco nocivos ou inócuos à saúde e ao meio ambiente.” Essa definição se apoia sobre 12 princípios, também apresentados por esses autores, a saber: 1. Prevenção; 2. Economia de átomos; 3. Síntese de produtos menos perigosos. 4. Desenho de produtos seguros; 5. Uso de solventes e auxiliares seguros; 6. Eficiência energética; 7. Uso de matérias-primas renováveis; 8. Evitar a formação de derivados; 9. Catálise; 10. Desenho para a degradação; 11. Análise em tempo real; 12. Química intrinsecamente segura.

Desde seu surgimento na década de 1990, muitas vozes, tanto no cenário internacional quanto nacional, têm se somado para reivindicar a inserção dos princípios da QV nos cursos de formação profissional em Química, em nível de graduação e pós-graduação (PRADO, 2003; MACHADO, 2004; 2008; 2011; MARQUES *et al.*, 2007; 2013; VILCHES; PEREZ, 2011; ZUIN, 2011).

Segundo Anastas e Kirchhoff (2002, p.686) “Estudantes de todos os níveis precisam ser introduzidos à filosofia e a prática da Química Verde”. Machado (2004) cita a Declaração de Tóquio (2003), sobre Química Verde e Sustentável (QUIVES), a qual defende que esta nova abordagem da Química deverá embutir nos

1. Este artigo foi originalmente publicado no livro eletrônico “Temáticas e pesquisas em ensino de Química no estado do Paraná”, publicado pela Editora UEPG e organizado por Leila Inês Follmann Freire e Franciellen Rodrigues Silva da Costa, no ano de 2019.

jovens cientistas, as competências éticas e práticas requeridas para reorientar a tecnologia química no sentido da Sustentabilidade. Para isso o autor propõe inserir os princípios da QV em todos os níveis educacionais.

Pinto e colaboradores (2009) reforçam a importância da QV nos currículos dos cursos de graduação, argumentando o vínculo desta com a sustentabilidade, na medida em que possui grande potencial na solução de uma gama de problemas que se impõem ao desenvolvimento sustentável, entre eles as questões energéticas, alimentares e ambientais.

Igualmente, Farias e Fávaro (2011) afirmam ser inconcebível que dentro do quadro de problemas socioambientais no qual nos encontramos e onde a Química tem um grande papel de enfrentamento, ainda permaneçamos formando químicos que ignoram essa vertente.

Vilches e Perez (2010), por sua vez, estendem esse posicionamento até a Educação Básica e defendem que a QV passe a fazer parte dos cursos de formação a fim de difundir essa nova proposta e levar a cabo essa nova racionalidade, colaborando em várias frentes para o desafio de um futuro sustentável.

Hjeresen, Shutt e Boese (2000) ainda reforçam que os estudantes de Química demonstram grande interesse pelo tema da Sustentabilidade e querem entender como as ações antrópicas afetam a saúde no planeta, sendo que estas questões podem ser tratadas não apenas sob o enfoque da Química Ambiental, mas também pela ótica da QV, que ocupa-se em evitar a geração de danos à saúde e ao ambiente em detrimento do seu tratamento.

Entretanto, apesar dos reiterados apelos para que a QV componha os currículos de formação profissional, e os reconhecidos esforços para que esta proposta de viabilize nos cursos de graduação e pós-graduação em nível mundial, encontramos na literatura nacional indícios de que essas propostas ainda não atingiram sua plenitude, embora sejam promissoras.

Antonin e colaboradores (2011) consideram que a difusão dos princípios da QV nos cursos superiores de Química no Brasil ainda

é incipiente e Rollof (2016) confirma que os princípios da QV não costumam fazer parte dos cursos de formação docente. Nesse sentido, este artigo discute, inicialmente, os caminhos que vêm sendo adotados por algumas instituições para a incorporação da QV na formação profissional em Química, de modo geral. Posteriormente, em defesa da transversalização desse tema, o trabalho busca apontar as possibilidades de abordagem dos princípios da QV em diferentes componentes curriculares da grade curricular dos cursos de Química, com destaque para os cursos de Licenciatura. O objetivo, ao fazer esses apontamentos, é promover a reflexão sobre as possibilidades da inserção da QV na formação inicial de docentes e, assim, contribuir com iniciativas que buscam sua difusão no campo da educação química.

QV na formação docente: caminhos possíveis

De acordo com Tundo *et al* (2000), a fim de permitir o pleno potencial da QV para exploração dos aspectos científicos, econômicos e os avanços humanitários que sua promessa assegura, a comunidade científica precisa fornecer oportunidades de formar químicos sob os auspícios dessa nova filosofia, tratando de seus princípios científicos, metodologias e técnicas em todos os níveis de formação.

Conforme esses autores, este esforço educacional pode assumir várias formas, incluindo cursos tradicionais de química para estudantes nos níveis primário, secundário e universitário, bem como treinamento profissional para praticar QV na indústria.

Entretanto, a viabilização do ensino da QV na formação profissional ainda encontra barreiras, pois até mesmos materiais instrucionais que favoreçam essa abordagem são incipientes. Conforme Andraos e Dicks (2012) as ideias e exemplos de QV são geralmente apresentados como “material opcional”, ou seja, como barras laterais e vinhetas em livros didáticos de graduação. Diante disso, as tentativas de incorporação da QV na formação acadêmica têm ficado, muitas

vezes, restrita a abordagens pontuais como cursos e oficinas de curta duração.

Todavia, tal como acontece com qualquer nova área de pesquisa científica, os educadores têm buscado estratégias para integrar princípios verdes em currículos de graduação e pós-graduação (ANDRAOS; DICKS, 2012). Isso fica evidente em algumas instituições brasileiras, que optaram por ofertar componentes curriculares destinados a tratar especificamente da QV, seja como componente curricular regular do curso ou como disciplina eletiva. Exemplos nesse sentido podem ser encontrados na Universidade Federal de Pelotas - UFPEL, que oferta a disciplina obrigatória de Química Verde, enquanto na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Universidade Federal da Bahia (UFBA) disciplinas com essa temática são ofertadas na modalidade optativa ou eletiva.

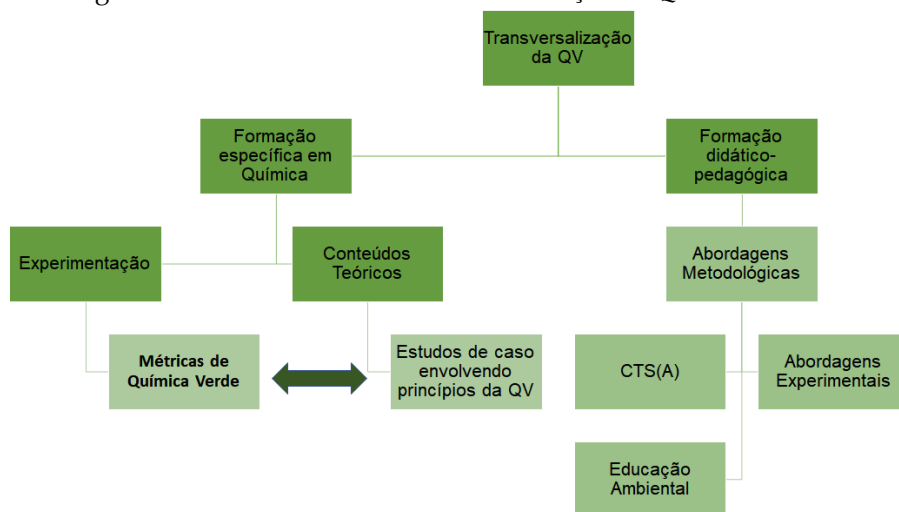
A oferta de um componente curricular exclusivo para o tratamento da QV é um ponto divergente, pois de acordo com Andraos e Dicks (2012), ao mesmo tempo em que uma disciplina permite explorar com maior profundidade aspectos conceituais da QV, também pode representar uma sobrecarga curricular além de colaborar para a permanência da fragmentação curricular e não favorecer a incorporação da QV às demais subáreas da Química. Igualmente, a ideia de eventuais abordagens, como palestras, oficinas e cursos de curta duração, embora válidas, são intervenções com curto alcance para a internalização de uma nova forma de conceber e praticar a Química.

Rollof (2016), ao investigar a circulação de conhecimentos sobre QV por meio da análise de teses e dissertações sobre o tema, identificou 14 trabalhos (10 dissertações e 4 teses), que propõem a inserção da QV no ensino de Química, sendo que a incorporação de modo transversal no currículo foi a categoria predominante no estudo realizado pela pesquisadora.

É em defesa da transversalização que pretendemos, a seguir, apontar alguns caminhos considerados possíveis para realizar a inserção da QV na formação profissional em Química, notadamente

na formação docente. Para tanto, as possibilidades apontadas aqui se dirigem para a incorporação da QV no currículo, permeando tanto os componentes curriculares de formação específica em Química, quanto aqueles de formação didático-pedagógica. A Figura 1, busca apresentar de forma esquemática as possibilidades de transversalização da QV na formação docente, as quais serão discutidas em maiores detalhes na sequência.

Figura 1 – Possibilidades de transversalização da QV no currículo



Fonte: a autora

Química verde na formação específica em química

Sem a intenção de reforçar a dicotomização entre a teoria e a prática no ensino de Química, nesta seção, buscaremos apontar algumas possibilidades da inserção da QV nos diferentes componentes curriculares dos cursos de Química, os quais, conforme a organização curricular atual das instituições de ensino superior, ainda são ofertados como teóricos e experimentais. Todavia, conforme o leitor perceberá, e a dupla seta da Figura 1 (situada entre os quadros Métricas de verdura química e Estudos de caso envolvendo os princípios da QV) buscou enfatizar, os princípios da QV passíveis de serem explorados no âmbito do ensino não se estan-

cam unicamente no campo teórico ou experimental, mas imbricam ambas as dimensões.

Na experimentação

A experimentação é possivelmente o campo mais frequentado no que diz respeito a inserção da QV no ensino de Química. A literatura é vasta na apresentação de propostas experimentais que buscam contemplar qualitativa ou quantitativamente algum princípio da Química Verde nas diferentes subáreas da Química – Analítica, Orgânica, Inorgânica e Geral (COSTA, RIBEIRO, MACHADO, 2008, GALUSZKA *et al.* 2013; MENDES, 2018). Isso deve-se ao fato de que técnicas e sínteses laboratoriais permitem explorar quase a totalidade dos princípios da QV.

Como exemplo de inserção da QV na experimentação podemos citar os trabalhos realizados por Cunha e colaboradores (2012) no qual a partir da biomassa de cravo-da-índia obtém-se simultaneamente o eugenol – óleo essencial – e o furfural, um importante intermediário bastante versátil na síntese orgânica. Segundo os autores esse experimento permite explorar várias técnicas laboratoriais (destilação, extração, filtração e cromatografia), além de conteúdos de Química Orgânica e alguns princípios da Química Verde, tais como o uso de matéria prima renovável; uso de solventes inócuos e avaliação da geração de resíduos, por meio da métrica de massa Fator E (*Environmental factor*).

Outro exemplo a ser mencionado é o trabalho desenvolvido por Zandonai (2013) com a síntese do salicilato de metila utilizando o micro-ondas e carvão ativo como catalisador, com resultados satisfatórios em relação a síntese convencional que utiliza refluxo por cerca de 4 horas e emprega ácido sulfúrico como agente de catálise. Nessa proposta, o autor demonstra ter melhorado o grau verde da reação no tocante aos princípios 6, referente ao melhoramento quanto ao uso de energia, e ao princípio 9, correspondente à catálise. Mello *et al* (2018), apresentam um estudo análogo pro-

pondo o uso de micro-ondas para uma síntese mais verde do ácido acetilsalicílico nos cursos de graduação.

Silva e colaboradores (2016) também buscaram explorar os princípios da QV por meio da experimentação num curso de Licenciatura em Química com vistas a favorecer o contato dos acadêmicos com a filosofia da Química Verde. Nesse sentido foram realizadas adaptações de protocolos experimentais para a inserção de conceitos referentes à Química Verde. Hrysyk (2012), por sua vez, realizou a adaptação de experimentos aplicados em diferentes conteúdos e disciplinas experimentais do ensino superior em Química, com vistas a melhor atender os princípios da QV.

Em todos os estudos apresentados, os autores consideram que a adaptação de experimentos, com vistas a torná-los mais verdes, é uma iniciativa exitosa porque permite explorar os conteúdos químicos concernentes aos programas das disciplinas experimentais ao mesmo tempo em que possibilita inserir os princípios da QV e discutir a responsabilidade dos químicos quanto às questões ambientais e de segurança na realização de suas atividades profissionais.

É importante ressaltar que, ao buscar inserir maior grau de verdura aos experimentos, é prudente fazê-lo de maneira sistemática por meio das métricas, pois como sinaliza Machado (2014), quando não há uma análise criteriosa e sistematizada da verdura química inerente ao processo, corre-se o risco de se ter propostas com falsa verdura embutida.

As métricas de verdura podem ser classificadas em métricas de massa, energéticas, ambientais e holísticas sendo que entre essas últimas se destacam a Estrela Verde e a Matriz Verde (MACHADO, 2014; PIRES; RIBEIRO; MACHADO, 2017). A aplicação dessas métricas no campo do ensino de Química vem crescendo e demonstram ser profícuas, não apenas para assegurar que o melhoramento de verdura química seja significativo, como também para favorecer visões mais críticas e abrangentes acerca dos impactos das atividades químicas.

Os trabalhos de Costa, Ribeiro, Machado (2011; 2012), por exemplo, analisam a verdura química de experimentos propostos e aplicados no ensino secundário no contexto das escolas portuguesas, empregando as métricas holísticas Estrela verde e Matriz Verde. Já o trabalho de Zandonai (2013) utiliza a Estrela Verde para aferir o grau verde dos experimentos adaptados ao curso superior em Química, enquanto, Pimenta, Gomes e Sandri (2018); e Sandri, Gomes e Bolzan (2018) utilizam a Matriz e a Estrela Verde para avaliar e propor melhorias na verdura química de experimentos didáticos também para o ensino superior.

Merat e San Gil (2003) ainda demonstram ser possível inserir a métrica de massa Economia Atômica (Ea), durante as aulas práticas de Química Orgânica, em experimentos de rotina. Para os autores:

Essa parece ser uma metodologia vantajosa, porque permite que os alunos vivenciem durante a graduação a necessidade de minimizar ao máximo a geração de subprodutos durante um processo químico e o descarte de subprodutos poluentes, de forma que possam aplicar estes conceitos no futuro, como profissionais conscientes das vantagens e da necessidade de preservação do meio ambiente (MERAT; SAN GIL, 2003, p.781).

A inserção das métricas de massa, energéticas e holísticas pode, portanto, ser um meio oportuno de incluir a QV aos experimentos convencionalmente realizados nos cursos de graduação, com possibilidades de envolver os académicos na análise e melhoramento da verdura química desses procedimentos químicos tornando-os mais limpos, menos onerosos e mais seguros. Somado a isso, importantes aspectos formativos podem ser articulados nos sujeitos envolvidos, como a ética, a responsabilidade socioambiental e o rompimento com visões descomprometidas ou fragmentadas da Química.

Nos conteúdos teóricos

É também importante refletir que os princípios da QV podem ser abordados e problematizados perpassando os conteúdos das disciplinas teóricas da formação específica do Químico. A exemplo disso podemos tomar o conceito de incorporação de átomos ao produto principal, relacionado ao segundo princípio (P2), e que pode, sem grandes mudanças no planejamento das aulas, passar a fazer parte do conteúdo de Estequiometria, estendendo-se inclusive para o tratamento matemático que levará aos cálculos de intensidade de massa (MI) ou eficiência atômica (Ea) e Fator E. Importa nesse intento não apenas inserir novos conceitos e novos cálculos, mas principalmente romper com a visão ingênua de reações ideais e invariavelmente de alta eficiência, bem como deslindar a deficiência e a parcialidade da análise exclusiva do rendimento reacional, que olha exclusivamente para o produto e ignora todas as perdas e os resíduos gerados.

Ainda abordando o P2, um tópico frequentemente abordado em Estequiometria ganha um novo olhar. Trata-se do reagente em excesso. Ensinado exaustivamente como uma necessidade incontornável em reações reversíveis quando se objetiva aumentar a obtenção do produto principal, e praticado corriqueiramente nas sínteses laboratoriais, o assunto dificilmente é tratado sob a perspectiva da QV, com vistas a avaliar o percentual de excesso em relação ao limitante e a geração de resíduos disso decorrente.

Em um estudo realizado por Ribeiro e Machado (2012), por meio da construção de uma Matriz Verde, os autores avaliam os efeitos da diminuição da porcentagem de reagente em excesso – acetilacetona – na síntese do tris (acetilacetonato) de ferro (III), verificando que era possível reduzir significativamente a quantidade do excesso comparado com o prescrito na literatura, sem perdas para a eficiência atômica. Isso denota a importância de estimular exercícios e investigações semelhantes, juntamente com os alunos, a fim de conferir maior verdura química aos processos e desenvolver a capacidade crítica, de pesquisa e de tomada de decisão.

Há certamente outros conteúdos químicos que podem, com certa facilidade, emergir dos princípios da QV ou vice-versa, pois esta é uma via de mão dupla. Sem estender-se, é possível citar a catálise, seus diferentes tipos e seus impactos na perspectiva da QV (ANASTAS, *et al*; 2000); os processos de derivatização associados a grupos protetores do anel benzênico; o uso de líquidos iônicos, solventes supercríticos e o emprego de micro-ondas e ultrassom para a obtenção de produtos mais verdes (CORREA; ZUIN; 2009; CORREA *et al*; 2016), como conteúdos que podem ser explorados nos componentes curriculares dos cursos de Química de forma a trazer a QV para a formação de profissionais da Química, não como um apêndice, ou como um conteúdo a mais, mas como parte integrante do corpo de conhecimentos já previstos e estabelecidos.

Conforme afirmam Andraos e Dicks (2012), embora a Química Orgânica e, notadamente a síntese orgânica se destaquem na abordagem da Química Verde, é possível e necessário que esta seja abordada em outras subdisciplinas da Química, sendo que os autores destacam a Química Analítica e a Físico-química. De fato, a Química Analítica, em muitas situações faz uso de reagentes de alta periculosidade, o que pode ser reavaliado dentro das orientações da QV. Nesse sentido trabalhos voltados exclusivamente a Química Analítica Verde (QAV) tem sido reportados na literatura (KOEL; KALJURAND, 2006; ARMENTA; GARRIGUES; GUARDIA, 2008; GALUSZKA, *et al*; 2013)

Na tentativa de identificar práticas didáticas efetivas de inserção da QV no ensino superior, Andraos e Dicks (2012), relatam a possibilidade de utilizar um “exercício verde multivariante”, no qual o professor seleciona vários métodos de literatura para cada transformação, com o objetivo de o aluno selecionar a rota mais verde. Segundo os autores, este é um meio eficaz para o ensino da QV, bem como muda a relação dos alunos com a Química ao permitir que saiam do reducionismo de aceitar uma única possibilidade viável aos problemas de ordem científica. Diante do exposto salientamos a importância de envolver os alunos na análise e escolha de processos mais verdes, o que pode envolver aspectos teóricos, experimentais, bem como o uso de métricas de verdura.

Um outro componente curricular classificado como teórico e que poderia permitir a inserção da Química Verde é a Química Ambiental. DREWS (2011), considera que a Química Ambiental permite explorar o conhecimento de processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem na natureza, permitindo uma compreensão da interação mútuas desses sistemas, enquanto a QV permite pensar em processos e tecnologias mais limpas com vistas a prevenir ao invés de remediar danos à natureza e à saúde humana. Isso permite dizer que seria condizente apresentar aos acadêmicos, essas duas linhas de atuação da Química no enfrentamento dos problemas ambientais decorrentes das atividades químicas.

No entanto, para isso é importante que os professores universitários e formadores de professores se deem conta que os princípios da Química Verde – com destaque para os primeiros 12 – transitam por muitos conteúdos químicos e, assim, possam abordá-los no desenvolvimento de conceitos em sala de aula. O efeito desta iniciativa pode capilarizar os conhecimentos da QV para os diferentes níveis e modalidades de ensino, ampliando seu alcance e aplicação.

Na formação didático-pedagógica

Enquanto a inserção da QV nos componentes curriculares correspondentes a formação específica em Química vem ocorrendo em diferentes momentos e sob diferentes perspectivas, como evidenciado pelos trabalhos mencionados nas seções anteriores, o mesmo não pode ser dito para os componentes curriculares que correspondem a formação didático-pedagógica de licenciandos em Química. Essas iniciativas são poucas, mas exitosas para a formação de professores (SANDRI, 2016; KARPUDEWAN; ISMAIL; MOHAMED, 2009), sendo consideradas promissoras para tornar possível que o conceito, os princípios e a filosofia da QV atinjam a educação básica.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação de professores preveem que os cursos de licenciatura devem obrigatória-

mente ofertar 400 horas de prática como componente curricular (PCC), as quais devem ser distribuídas ao longo do curso (BRASIL, 2002; 2015). Esses componentes tem a característica de tratar de aspectos práticos da formação pedagógica (BRASIL, 2005) ao buscar conhecer e analisar situações pedagógicas e estabelecer uma relação dialética entre teoria e prática (REAL, 2012).

Nesse sentido, torna-se possível estimular os futuros professores a abordarem a QV em suas aulas, por meio da avaliação de veracidade de experimentos para o ensino médio (SANDRI; SANTIN FILHO, 2017) e a realização de práticas mais seguras e menos impactantes; da exploração de conteúdos sob o enfoque CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente – ou a partir de questões ambientais e temas controversos que podem encontrar respostas na QV (MARQUES *et al*; 2013; ZANDONAI, 2013; MOREIRA; AIRES ; LORENZETTI, 2017).

A QV permite ressaltar aspectos importantes para a experimentação no ensino médio, como a questão da geração de resíduos nas escolas e a segurança dos alunos. A proposta de experimentos com o emprego de materiais alternativos, acessíveis, de baixo custo e principalmente de baixa toxicidade e periculosidade, buscando abranger os princípios 1 e 12 – que visam prevenir a quantidade de resíduos e praticar uma química segura, respectivamente –, ressignificam o emprego dos materiais alternativos para o desenvolvimento de experimentos, deixando de ser uma forma de motivação e aproximação do cotidiano, para se tornar o uso consciente de recursos nas aulas de Química.

Para Silva e Machado (2008), a falta de preocupação com a geração de resíduos nas aulas experimentais evidencia desconsideração das questões ambientais no ensino de Química e afirmam que integrar a prevenção e o gerenciamento de resíduos às aulas experimentais poderia torná-las espaço para a educação ambiental e o exercício ético da Química.

Como vimos, a experimentação surge novamente como um espaço propício para a abordagem da QV, todavia, restringir a abordagem da QV às aulas experimentais limita fortemente sua

inserção e difusão na educação básica, haja posto que a própria experimentação tem pouco alcance nesse nível de ensino, pois apesar da grande crença no seu potencial como meio de atingir um ensino mais eficaz em Ciências, e detidamente em Química, sua prática ainda é pouco frequente nesse nível de ensino por razões variadas que vão desde as dificuldades de infraestrutura até a dificuldade dos professores em desenvolver e viabilizar aulas dessa natureza (GALIAZZI, *et al*; 2001 GONÇALVES; GALIAZZI, 2004; GONÇALVES; MARQUES, 2006; BORGES, 2002).

Nesse sentido, é importante ampliar as possibilidades de inserir a QV atrelando-a a abordagens de conteúdos químicos sob perspectiva CTSA, associadas ou não a experimentos, como alguns exemplos e sugestões apresentados a seguir.

Zandonai (2013) realizou um estudo de caso no qual desenvolveu abordagens da QV em uma disciplina experimental no curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Os módulos foram desenvolvidos na perspectiva CTSA e na abordagem investigativa. Nesse trabalho também foi analisado o que os autores chamaram de “grau verde” das experiências aplicadas usando a Estrela Verde. O pesquisador associou uma problemática socioambiental ou sociocientífica a cada um dos experimentos como forma de contextualização e, posteriormente, propôs a prática associando cada uma delas a um princípio da QV. Como exemplo é possível citar a identificação de polímeros, a qual foi associada com o vídeo “sopa plástica” que trata da poluição de corpos d’água com plástico. Nessa perspectiva, o autor explorou o princípio 1, que trata prioritariamente da prevenção à geração de resíduos em detrimento de seu posterior tratamento.

Silva e colaboradores (2016) apresentam a síntese de um polímero biodegradável, considerado verde, que possibilitaria discutir aspectos sociais relacionados ao consumo excessivo de plásticos e outros polímeros; seus impactos ambientais em decorrência da matéria prima convencionalmente utilizada para obtenção desses materiais – petróleo – e descarte inadequado; as tecnologias atuais para a obtenção desses polímeros e as possibilidades de tecnologias mais verdes, bem como ainda é possível problematizar as formas

pelas quais as pressões sociais e ambientais e os interesses políticos e econômicos influenciam os avanços científicos.

No que concerne à educação ambiental DREWS (2011), em um estudo teórico-reflexivo sobre a abordagem de temáticas ambientais no ensino de Química, ressalta a relevância da Química Ambiental e da Química Verde no contexto dessas discussões. A autora defende que a abordagem da Química Ambiental e QV ganham ainda mais relevância para a Educação Ambiental Crítica e Transformadora se ocorrer em função de temas de ensino extraídos do contexto social vivenciado pelos alunos da escola.

Outra possibilidade do ponto de vista ambiental seria tratar do ciclo de vida de diferentes resíduos sob a perspectiva da QV. O ciclo de vida permite escrutinar desde a matéria prima que originou o objeto até seu processo de decomposição. Nesse sentido, as tecnologias mais verdes para obtenção de materiais mais sustentáveis permitem problematizar o papel da Química e, especialmente da QV, na qualidade de vida das pessoas, como bem discutido por Ferreira, Rocha e Silva (2013).

Ainda no campo ambiental, tratar dos acontecimentos que antecederam o surgimento da QV, tais como as denúncias realizadas por Rachel Carson acerca da contaminação ambiental por produtos químicos (CARSON, 2010); os acidentes químicos, com destaque para o acidente de Bhopal (MACHADO, 2010) e as medidas de enfrentamento desses problemas, permitem analisar criticamente o papel da Ciência, seu processo de construção, e suas implicações éticas para a sociedade e o ambiente.

Salientamos por fim, que os apontamentos realizados no decorrer desse trabalho são apenas algumas das possibilidades de inserção da QV na formação inicial de professores de Química. Acreditamos, no entanto, que muitas outras sejam possíveis a medida que o professor formador, apropriando-se do tema, vislumbre suas relações com as diversas subáreas da Química e seus conteúdos de ensino, pois como afirmam Tundo e colaboradores (2000) a QV é interdisciplinar, não apenas porque envolve todas as várias subdisciplinas, – Química Orgânica, Química Analítica; Química Inorgâ-

nica e Físico-Química –, mas também porque interfere pujantemente na economia, na sociedade e no ambiente e por isso atravessa os interesses e objetivos industriais, acadêmicos e governamentais.

Considerações finais

Diante do exposto, é possível reforçar que as possibilidades de inserção da QV nos currículos de formação docente são diversas e promissoras, uma vez que, conforme Rollof (2016), a QV é uma nova racionalidade no padrão analítico e produtivo da Química e não uma nova área. Por essa razão, é mais adequado que seus conhecimentos perpassem os conteúdos químicos e ao mesmo tempo os diferentes campos da Química, ou seja, a pesquisa, indústria e ensino, ao invés de estancá-la a um componente curricular. Isso remete à necessidade de permeá-la em diferentes disciplinas e práticas metodológicas, oportunizando-lhe um caráter teórico, prático e vivencial de forma problematizada, contextualizada e crítica.

A importância de persistir na transversalização dessa temática decorre também do fato que a apropriação de conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais, necessários para a incorporação da filosofia da QV às atividades profissionais, envolvem processos complexos e é recursiva requerendo, portanto, um processo de constantes revisões e reelaborações que dificilmente se concretizam por meio de intervenções superficiais e de curta duração (SANDRI, 2016).

A QV quando abordada em diferentes componentes curriculares, em sua perspectiva crítica, relacionada às questões socioambientais e a novas tecnologias pode favorecer o rompimento com visões simplistas e fragmentárias da Ciência e possibilitar a incorporação da moral e da ética nas atividades profissionais da Química (TUNDO, *et al*; 2000)

Dessa maneira, ressaltamos a importância de que esta inserção não se dê apenas de forma pontual ou esporádica – como é o caso de palestras, minicursos e atividades isoladas – e que os princípios

não sejam trabalhados apenas restritos às disciplinas específicas do curso, visto que também as disciplinas de formação didático-pedagógica podem ser campos férteis para a discussão dessa temática, com amplas possibilidades de problematização e diálogo com temas educacionais relevantes.

Notadamente na formação de professores destacamos a possibilidade da QV ser trabalhada nas disciplinas de Prática como Componente Curricular (PCC) que, por seu caráter de buscar aliar os conhecimentos pedagógicos e específicos, podem ajudar a fundamentar práticas docentes mais adequadas, nas quais a QV, respaldada em sua vertente mais crítica, pode colaborar para que os educadores assumam e impulsionem o compromisso com a educação para a Sustentabilidade (VILCHES; PEREZ, 2011).

Por fim, ressalvamos que embora o enfoque deste artigo tenha sido a formação inicial de professores de Química, é de extrema importância que essa temática passe a fazer parte também da formação continuada de professores, que por vezes não tiveram contato com tal filosofia no decorrer de sua formação inicial.

Referências

- ANASTAS, P.T. *et al.* The role of catalysis in the design, development and implementation of green chemistry. **Catalysis Today**. n.55, p.11-22, 2000.
- ANASTAS, P.T. KIRCHHOFF, M.M. Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. **Acc. Chem. Res.** v.35, n.9, p. 686-694, jun./2002.
- ANASTAS, P.T.; WARNER, J.C. **Green Chemistry: theory and Practice**. New York: Oxford University Press, 1998.
- ANDRAOS, J.; DICKS A.P. Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. **Chem. Educ. Res. Pract.**, n. 13, p. 69-79, 2012.
- ANTONIN, V.C.; *et al.* Compreensão de Alunos de Graduação sobre conceitos de Química Verde. In: **International Workshop Advances in Cleaner Production** "Cleaner Production Initiatives and Challenges for a Sustainable World", São Paulo. p.9-11, 2011.
- ARMENTA, S; GARRIGUES, S; GUARDIA, M. Green Analytical Chemistry. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 27, n. 6, 2008.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Cad. Brás. Ens. Fís.**, v. 19, n.3: p. 291-313, dez. 2002.

BRASIL. **Parecer CNE-CP nº 02, de 09 de junho de 2015**. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial e Continuada dos Profissionais do Magistério da Educação Básica. Brasília: Conselho Nacional de Educação, 09 de junho de 2015. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/agosto-2017-pdf/70431-res-cne-cp-002-03072015-pdf/file>. Acesso em: 5. dez/2018.

BRASIL. **Parecer CNE/CES 15/2005**. Solicitação de esclarecimento sobre as Resoluções CNE/CP nºs 1/2002, que institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/pces0015_05.pdf. Acesso em: 5 dez. 2018.

BRASIL. **Resolução CNE-CP nº 2, de 19 de fevereiro de 2002**. Institui a duração e a carga horária dos cursos de licenciatura, de graduação plena, de formação de professores da Educação Básica em nível superior. Brasília: CNE, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CP022002.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2018.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. Traduzido por: Cláudia Sant'Anna Martins. 1 ed. São Paulo: Gaia, 2010.

CORREA, A. G.; ZUIN, V. G. **Introdução à Química Verde**. In: CORREA, A.G.; ZUIN, V.G. (Org.). Química Verde: Fundamentos e Aplicações. 1 ed. São Carlos: EDUFSCar, 2009, v. 1, p. 9-22.

CORREA, A.G. *et al.* **Química Orgânica Experimental. Uma abordagem de Química Verde**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

COSTA, D.A.; RIBEIRO, M.G.T.C.; MACHADO, A.A.S.C. Análise da verdura das atividades laboratoriais do 11º ano do ensino secundário. **Informativo de Química 123** – out/dez, 2011, p. 63 -72.

COSTA, D.A.; RIBEIRO, M.G.T.C.; MACHADO, A.A.S.C. Uma revisão bibliográfica sobre o Ensino de Química Verde. **Informativo de Química 109** – abr/jun. 2008, p. 47-51. Disponível em: http://educa.fc.up.pt/ARTIGOS/BSPQ_109_2008.pdf Acesso em: 7 dez. 2018.

CUNHA, S. *et al.* Biomassa em aula prática de química orgânica verde: cravo-da-índia como fonte simultânea de óleo essencial e de furfural. **Quim. Nova**, v. 35, n. 3, p.638-641, set./ 2012.

DREWS, F. **Abordagem de temáticas ambientais no ensino de Química: um olhar sobre textos destinados ao professor da escola básica**. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FARIAS, L.; FÁVARO, D.I.T. Vinte anos de Química Verde: conquistas e desafios. **Quim. Nova**, v. 34, n. 6, p. 1089-1093, 2011.

FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R.; da SILVA, F. C. Química Verde, Economia Sustentável e Qualidade de Vida. **Rev. Virtual Quím.**, v, 6, n. 1, p.85-111, 2014.

GALIAZZI, M.C. *et al.* Objetivos das atividades experimentais no Ensino médio: a pesquisa coletiva como Modo de formação de professores de Ciências. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p. 249-263, 2001.

GALIAZZI, M.C. GONÇALVES, F.P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Quim. Nova**, v. 27, n. 2, p. 326-331, 2004.

GALUZKA A. *et al.* The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices. **Trends in Analytical chemistry**, n. 50, p. 78-84, 2013.

GONÇALVES, F.P.; MARQUES, C.A. Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de experimentação no ensino de química. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.11, n. 2, p. 219-238, 2006.

HJERESSEN, D.L.; SCHUTT, D.L.; BOESE, J.M. Green Chemistry and Education. **Journal of Chemical Education**, v. 77, n. 12, p. 1543-1547, 2000.

HRYSYK, A.S. **Inserção da Química Verde em atividades experimentais de graduação**. Dissertação (Mestrado acadêmico em Química Aplicada) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

KARPUDEWAN M.; ISMAIL Z.H.; MOHAMED, N. The integration of green chemistry experiments with sustainable development concepts in pre-service teachers' curriculum: Experiences from Malaysia. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 10 n. 2, p.118-135, 2009.

KOEL; M.; KALJURAND, M. Application of the principles of green chemistry in analytical chemistry. **Pure Appl. Chem.**, v. 78, n. 11, p. 1993-2002, 2006.

MACHADO, A.A.S.C. Química e Desenvolvimento sustentável - QV, QUIVES, QUISUS. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, n. 95, p. 59-67, 2004.

MACHADO, A.A.S.C. Da génese ao ensino da química verde. **Quim. Nova**, v. 34, n. 3, p. 535-543, 2011.

MACHADO, A.A.S.C. **Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica**. Florianópolis: UFSC, 2014.

MACHADO, A.A.S.C. O desastre de Bhopal no contexto da Química Verde. A sua causa última: um retrocesso. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, n.118, p. 41-48, jul/set. 2010.

MACHADO, A.A.S.C. Uma análise SWOT do contexto CTSS das atividades laboratoriais d ensino secundário. **Informativo de Química 124** – jan.mar. p. 65-74, 2012.

MACHADO, G.E. A experimentação como estratégia para o ensino de Química na perspectiva de Paulo Freire. **Periódico Tche Química**. v. 12 n. 24. p. 68-73, 2015.

MARQUES C.A. *et al.* Visões de Meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de Química na escola média. **Quim. Nova**. v.30, n.8, p. 2043-2052, 2007.

MARQUES, C.A. *et al.* A abordagem de questões ambientais: contribuições de formadores de professores de componentes curriculares da área de ensino de química. **Quim. Nova**, v. 36, no. 4, 600-606, 2013.

MELLO, F. *et al.* Proposta didática para obtenção de ácido acetilsalicílico sob a perspectiva da Química Verde. **Revista Brasileira de Ensino de Química**. v.13, n.2, p.63-71, 2018.

MENDES, M. **Experimentos de Química Geral na perspectiva da Química Verde**. São Paulo: Livraria da Física, 2018.

MERAT, L.M.O.C.; SAN GIL, R.A.S. Inserção do conceito de economia atômica no programa de uma disciplina de Química Orgânica Experimental. **Quím. Nova**, v. 26, n. 5, p. 779-781, 2003.

MOREIRA, A. M.; AIRES, J. A.; LORENZETTI, L. Abordagem CTS e o conceito química verde: possíveis contribuições para o ensino de química. **Actio: Docência em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 193-210, jul./set. 2017.

PIMENTA, S. F. *et al.*; Análise de Experimentos de Química Orgânica Sob uma Perspectiva de Química Verde. **REDEQUIM - Revista Debates em Ensino de Química**, v. 4, n.1, p. 180-207, 2018.

PINTO, A.C. *et al.* Recursos Humanos para Novos Cenários. **Química Nova**, v. 32, n.3, p.567-570, abril/2009.

PIRES, T.C.M.; RIBEIRO, M.G.T.C.; MACHADO, A.A.S.C. Extração do R-(+)-limoneno a partir das cascas de laranja: avaliação e otimização da verdura dos processos de extração tradicionais. **Quím. Nova**, v. 41, n. 3, 355-365, 2018.

PRADO, A.G.S. Química verde, os desafios da química do novo milênio. **Quím. Nova**, v. 26, n. 5, p.738-744, 2003.

REAL, G.C.M. Prática como Componente Curricular: o que isso significa na prática? **Educação e Fronteiras On-Line**, Dourados/MS, v.2, n.5, p.48-62, maio/ago. 2012.

RIBEIRO, M.G.T.C; MACHADO, A.A.S.C. Novas métricas holísticas para avaliação da verdura de reações de síntese em laboratório. **Quím. Nova**, v. 35, n. 9, p. 1879-1883, 2012.

ROLLOF, F.B. **A circulação de conhecimentos em Química Verde em teses e dissertações: implicações ao seu ensino e formação de professores**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANDRI, M C M. **Contribuição da Inserção do Enfoque CTSA e da Química Verde na Formação de Licenciados em Química**. Tese (Dourado em Educação para a Ciência e Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

SANDRI, M. C. M; SANTIN FILHO. Análise da Verdura Química de Experimentos Propostos para o Ensino Médio. **Actio: Docência em Ciências**. Curitiba. v. 2, n. 2, p. 97-118, Jul/Set. 2017.

SANDRI, M.C.M.; GOMES, S.I.A.A.; BOLZAN, J.A. **Orgânica Experimental - Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde**. Curitiba: Editora IFPR, 2018.

SILVA, B.B. *et al.* Utilização dos conceitos da Química Verde nas aulas práticas de laboratório. In: **Anais do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ)** Florianópolis, SC, Brasil, julho/2016. Disponível em: <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0965-1.pdf> Acesso em: 12 dez. 2018.

SILVA, R.R.; MACHADO, P.F.L. Experimentação no ensino médio Química: a necessária busca da consciência Ético-ambiental no uso e descarte de Produtos químicos – um estudo de caso. **Ciência e Educação**, v. 14, n. 2, p. 233-249, 2008.

TUNDO, P. *et al.* Synthetic pathways and processes in green chemistry. Introductory overview. **Pure Appl. Chem.**, v. 72, n. 7, p. 1207-1228, 2000.

VILCHES, A.; GIL, D. CAÑAL, P. Educación para la sostenibilidad y educación ambiental. **Investigación em la Escuela**. v.71, p.5-15, 2010.

VILCHES, A; GIL PÉREZ, D. Papel de la Química y su enseñanza em la construcción de um futuro sostenible. **Educación Química**. v.22, n.2 p. 103-111, 2011.

ZANDONAI, D. P.; *et al.* Química Verde e Formação de Profissionais do Campo da Química: Relato de uma Experiência Didática para Além do Laboratório de Ensino. **Rev. Virtual Quim.** v. 6. n. 1. p. 73-84, 2014.

ZANDONAI, D.P. **A inserção da Química Verde no curso de Licenciatura do DQ -UFSCAR: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado Profissional em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

ZUIN, V. G. **A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de Química**. Campinas: Átomo, 2011.

ZUIN, V.G. *et al.*, Desenvolvimento Sustentável, Química Verde e Educação Ambiental: o que revelam as publicações da SBQ. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 10, n.1, p. 79-90; Jan./Jun. 2015.

Propostas didáticas feitas em um curso de formação de professores para a inserção da Química Verde por meio da Abordagem CTS no ensino básico

Júlia Damazio Bouzon
Juliana Barreto Brandão
Alvaro Chrispino

Introdução

Porque o tempo é o ingrediente essencial, mas no mundo moderno não há tempo. A rapidez da mudança e a velocidade com que novas situações são criadas seguem o ritmo impetuoso e insensato da humanidade, e não o passo cauteloso da natureza. (CARSON, 2010, p. 23)

Como mensurar o “ritmo impetuoso e insensato da humanidade” em detrimento do “passo cauteloso da natureza”? Desde a Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, é notório que se tem uma crise ambiental aprofundada, decorrente da relação nem sempre harmoniosa da humanidade com a natureza. Essa crise é advinda do pensamento de que o homem, à época, poderia sempre explorar de forma impessoal, fruto do método científico, dominando, principalmente, os bens naturais (OLIVEIRA, 2008; SILVA; SCHRAMM, 1997).

Dessa forma, durante os séculos XIX e XX, a Química possuía com o meio ambiente a concepção linear de compreender um fenômeno, transformá-lo ou criar algo a partir dele para, em seguida, produzir algo novo e/ou reproduzir. Essa ideia vai ao encontro da

filosofia da ciência linear, na qual mais ciência produz mais desenvolvimento que, conseqüentemente, gera maior bem-estar (YANARICO, 2011). A partir disso, o meio ambiente era, e ainda é, visto como uma forma de captação de matéria-prima sendo também o destino do produto, com o lançamento indevido de descartes. Esse cenário fez com que, no século XX, os problemas ambientais aumentassem drasticamente uma vez que os avanços na tecnologia e na ciência eram feitos sem precedentes (GOLDEMBERG; BARBOSA, 2004; SILVA; CRISPIM, 2011).

Foi então que, em 1998, Paul T. Anastas e John C. Warner apresentaram o conceito de Química Verde (QV) que

consiste na utilização de um conjunto de princípios que reduzem ou eliminam o uso ou a geração de substâncias perigosas durante o planejamento, manufatura e aplicação de produtos químicos. (ANASTAS; WARNER, 1998, p.11)

A partir dessa nova visão, os dois autores pioneiros elencaram doze princípios que ficaram conhecidos como os Doze Princípios da QV (ANASTAS; WARNER, 1998) e que fizeram com que o olhar sobre as práticas químicas passasse a ser diferente do que era feito ao longo dos anos anteriores. Ao invés de produzir para depois remediar, passou-se a ter a ideia de planejar, desenvolver e prevenir possíveis danos que poderiam ser gerados seja para a segurança química, seja para o meio ambiente.

Inicialmente, essa problemática era direcionada totalmente para a indústria química, devido à possibilidade de novas substâncias nocivas para os seres humanos e o ambiente serem concebidas sem que se pensasse nas conseqüências que teriam. No entanto, é importante lembrar que as problemáticas ambientais não são de responsabilidade apenas industrial, mas sim de todos os seres humanos que ocupam o planeta Terra.

Dessa forma, é importante disseminar conceitos da filosofia verde para a população em geral e para as diversas áreas do conhecimento para que consigam agir, consumir e pensar de forma que alcancem seus objetivos – pessoais, sociais, industriais, econômicos

etc. - com menor prejuízo ao ambiente. Isto posto, fica evidente que uma das formas para que a maioria das pessoas tenha acesso e posterior domínio desses conceitos é a educação, através da escola, por conta de sua capilaridade social.

Como a QV foi estruturada inicialmente para a indústria, é comum restringir sua aplicação a cursos de graduação que estejam relacionados diretamente ao setor industrial, como Engenharia Química ou Química Industrial. No entanto, “estudantes de todos os níveis precisam ser introduzidos à filosofia e à prática da Química Verde” (ANASTAS; KIRCHHOFF, 2002, p. 686). Portanto, é importante que esta discussão chegue aos níveis básicos de ensino para que tenhamos alunos cada vez mais informados e imersos na filosofia verde.

Apesar de ser simples chegar à conclusão que a QV precisa ser inserida no ensino básico, para que isso aconteça, é necessário que os professores desta modalidade estejam sensibilizados para a importância do tema e possuam conhecimentos sobre a temática verde. No entanto, poucas são as universidades brasileiras que formam docentes com algum embasamento teórico de QV (ZUIN; PACCA, 2009; PRADO, 2003).

No cenário específico do estado do Rio de Janeiro, apenas duas universidades públicas (a Universidade Federal Fluminense e o Instituto Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro) possuem disciplinas eletivas que são relevantes para essa discussão. A partir dos Projetos Pedagógicos de Curso¹ e ementas das principais instituições públicas de ensino superior do estado do Rio de Janeiro, pode-se observar que poucas são as disciplinas que, em suas ementas, estimulam em seus alunos a preocupação com a filosofia verde, já que é facultativa a escolha delas ao longo dos seus cursos de Licenciatura em Química.

1. Projeto Pedagógicos disponíveis em: <https://www.iq.ufrj.br/arquivos/2020/10/PPC-LQ-2013.pdf>; <http://institutos.ufrj.br/ice/>; <https://ggq.uff.br/wp-content/uploads/sites/334/2020/11/PPC-LICENCIATURA.pdf>; <https://sigaa.ifrj.edu.br/sigaa/verProducao?idProducao=1999316&&key=f8280d067d66ed5a796d1a119d925997>; <https://sigaa.ifrj.edu.br/sigaa/verProducao?idProducao=1999332&&key=cdfc2eb352611001f254a367a53ca543>. O curso de licenciatura em Química da UERJ não possui PPC. Logo, o exposto aqui neste trabalho foi retirado das ementas das disciplinas, disponíveis em http://www.iq.uerj.br/grad_lq.html.

Dessa maneira, poucos são os professores da Educação Básica que têm contato ou são formados sob a ótica da QV e, consequentemente, muitos chegam às salas de aula sem conhecimento organizado para embasar discussões que possam tornar seus alunos mais conscientes dos seus papéis e hábitos perante o meio ambiente e o mundo.

Essa questão reflete diretamente na função social do ensino de Química, na qual se pensa em mudanças há anos, mas encontra-se dificuldade e resistência para a discussão, apresentando tendência à massificação dos conteúdos e à falta de compromisso com a segurança química e da comunidade (CHRISPINO, 1989). Um dos motivos para que isso aconteça é o fato de que muitas pessoas ainda acreditam no caráter empirista e positivista da ciência, focado estritamente no método científico, que é centrado essencialmente no ensino de conceitos e, assim, exclui o contexto que cerca os estudantes, tornando a Química uma ciência desestimulante para os discentes (MESSEDER NETO, 2015).

Nesse cenário, é importante oferecer aos docentes uma formação diferenciada que permita a eles compreender que as suas próprias concepções sobre a natureza das ciências vão refletir diretamente na forma como ensinam ciências (ACEVEDO et al., 2005; MANASSERO; VÁZQUEZ, 2001). Essa visão mais ampliada sobre a construção social da ciência e da tecnologia, e outras visões similares, permite que o professor perceba que suas abordagens podem ser mais compatíveis com o interesse dos estudantes favorecendo a maior participação e envolvimento por parte deles no processo de ensino-aprendizagem e, inclusive, na participação social em temas sociocientíficos e tecnológicos relevantes.

Neste contexto, a aprendizagem baseada na tríade Ciência, Tecnologia e Sociedade, também conhecida por Abordagem CTS, é uma opção interessante para os professores que desejam formar não só alunos, mas cidadãos mais críticos capazes de entender mais sobre a natureza da ciência e da tecnologia, analisando a relação da tecnologia e da ciência como parte da construção da sociedade.

Para mais do que o entendimento das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, as abordagens CTS defendem que o ensino deve ir além do enfoque meramente conteudista. É importante que o processo seja direcionado para que o estudante seja capaz de utilizar o que foi aprendido, também para a sua reconstrução social, deixando a massificação do conhecimento científico para trás (AIKENHEAD, 2005; AIKENHEAD, 1994; CUTCLIFFE, 2003).

Em vista disso, é possível se utilizar das abordagens CTS para que os conceitos de QV cheguem aos alunos de forma contextualizada e não isolada, mostrando que a participação de cada um dos discentes é importante na construção do pensamento coletivo e implica diretamente nos problemas externos à sala de aula. Além disso, é uma alternativa que deve ser considerada pelos docentes, de modo que suas aulas se tornem mais atrativas e relevantes, e façam com que os alunos sejam ativos no processo de construção do seu ensino.

Unindo, então, as abordagens CTS à problemática Verde já iniciada anteriormente, este trabalho é um recorte da construção e aplicação de uma disciplina que foi estruturada para um curso de Especialização em Ensino de Química. O objetivo dessa disciplina foi entender como os conceitos de QV, pautados na abordagem CTS, podem ser discutidos com professores e chegar ao ensino básico ajudando a contribuir para a formação crítica dos estudantes.

Todo o processo desde a pesquisa aos referenciais teóricos que embasam a disciplina, até a aplicação em duas versões dela, foi apresentado em uma tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação (PPCTE) do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ).

No entanto, é importante que o leitor entenda como é desenhado o curso de especialização, como era o público da turma aqui discutida, além de outros fatores que influenciam qualquer pesquisa, como a avaliação. Em relação a esse item, foi solicitado que todos os cursistas apresentassem, ao final da disciplina, uma proposta didática de inserção de, pelo menos, um conceito de QV

pautado na abordagem CTS, para o ensino básico. Todas as propostas foram discutidas em sala, categorizadas posteriormente e, aquelas referentes à segunda turma de aplicação, serão detalhadas ao longo deste capítulo, com o objetivo principal de evidenciar a licenciandos e licenciados possibilidades viáveis de abordar a QV no ensino básico.

A pesquisa

Esta pesquisa constituiu-se em uma análise e avaliação de uma disciplina intitulada **Educação em Química, Sociedade e Ambiente**, planejada e ministrada no curso de Especialização em Ensino de Química do Colégio Pedro II², inaugurado no ano de 2019.

Esta disciplina foi estruturada, inicialmente, com estudos de revisão da literatura visando a fundamentação teórica a respeito da temática envolvida (QV e abordagem CTS), cujos pressupostos foram apresentados na introdução. A partir da primeira aplicação, da discussão de textos, conceitos, metodologias diversas, bem como das propostas de inserção no Ensino Básico pensadas pelos cursistas dos conceitos previamente trabalhados durante o curso, modificações foram feitas na sequência inicial.

Dessa forma, a intervenção feita neste recorte se deu no ano de 2021, a partir da ementa resumida proposta no Quadro 1. A disciplina contou com a carga horária total de 45 horas, sendo oferecidas 20 vagas a partir do edital, mas contou com 11 cursistas efetivamente.

2. Para mais detalhes sobre o curso, acesse o endereço <http://www.cp2.g12.br/blog/propgpec/pos-graduacao/lato-sensu/quimica/apresentacao/>. A atualização deste site depende, exclusivamente, da reitoria responsável pelos cursos de Pós-Graduação. Sendo assim, há defasagens em relação ao que é feito atualmente (em 2022).

Quadro 1 – Ementa resumida da disciplina

EMENTA RESUMIDA:

1º Momento: Química Verde.

Apresentação do histórico da Química Verde a partir dos eventos ocorridos, definições e princípios da QV. Desenvolvimento sustentável, pegadas ecológicas, hídrica e de carbono. Produção mais limpa, economia circular, chemical leasing. Biomassa, avaliação do ciclo de vida, métricas holísticas.

2º Momento: Abordagem CTS.

Apresentação e estudo da abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). A abordagem CTS e as técnicas de controvérsia e dilemas morais. As crenças, valores e atitudes em CTS a partir do PIEARCTS. A contribuição da abordagem CTS para a Educação e ensino de ciência e tecnologia.

ROTINA DE TRABALHO

O curso é desenvolvido a partir de discussões dos slides apresentados em aula e textos previamente selecionados e indicados desde o primeiro encontro a fim de que os estudantes possam organizar-se para leituras e reflexão.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Os participantes serão avaliados individualmente por meio da **participação semanal** nas discussões sobre os textos escolhidos, pela **participação na controvérsia e no dilema moral**, além da **apresentação do trabalho em grupo, oralmente e de forma escrita**.

O **trabalho em grupo** deverá tratar sobre uma metodologia que tenha a abordagem CTS para a introdução de um dos conceitos de QV apresentados no 1º momento do curso. O ideal é que, pelo menos, um integrante do grupo consiga aplicar esta metodologia e traga resultados para serem discutidos com o restante da turma.

NOTA IMPORTANTE: Os trabalhos serão submetidos a um software anti-plágio e devem estar no limite similaridade apontado como aceitável pelo *software* (por exemplo, 3% no *CopySpider*).

Fonte: BOUZON, 2022.

Algumas análises foram feitas antes, ao longo e após a disciplina, e constaram como objeto da pesquisa da tese de doutorado (BOUZON, 2022). Como exemplos, pode-se citar os pré e pós-testes aplicados com perguntas abertas acerca de QV, o preenchimento do formulário do Projeto Ibero-Americano de Avaliações e Atitudes Relacionadas com a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade (PIEARCTS), os trabalhos propostos pelos cursistas ao final do curso, além de um questionário com os cursistas egressos para saber se houve alguma modificação em suas práticas docentes.

Somado a essas análises, diversas anotações a respeito das falas dos cursistas, bem como do que foi desenvolvido ao longo das aulas, foram feitas em um diário de bordo da autora da tese, analisadas e utilizadas em diversos momentos ao longo do texto como retificação do que foi colocado. Especificamente para a turma de 2021, além das anotações, as gravações das aulas remotas foram

acessadas para maiores detalhes acerca das discussões. Dessa forma, pode-se dizer que a abordagem desta pesquisa foi mista (quali-quantitativa) (CRESWELL, 2010).

De acordo com Creswell (2010), a técnica de métodos mistos envolve coleta e análise de dados quantitativos e qualitativos em uma única pesquisa, se utilizando de questões abertas, nesse caso com o questionário de QV, a autoavaliação e o questionário com os cursistas egressos, e fechadas, representadas pelo questionário do PIEARCTS, e, com isso, de uma análise textual e estatística, respectivamente. Com procedimentos concomitantes, as duas formas de dados (quali-quantitativa) são coletadas e posteriormente integradas na interpretação dos resultados gerais. Dessa forma, é garantido um melhor entendimento do problema de pesquisa colocado.

Além destas classificações, pode-se dizer, também, que esta foi uma pesquisa exploratória, já que, de acordo com Gil (2008), teve como finalidade desenvolver, esclarecer e modificar ideias a respeito de QV, bem como de CTS.

Aqui, será levada em conta apenas a análise feita sobre os trabalhos apresentados pelos cursistas ao final das aulas, requisito este para que obtivessem o conceito para aprovação na disciplina. Todos os grupos de alunos elaboraram, então, uma proposta de inserção da QV por meio da abordagem CTS para o ensino básico, que foi categorizada de acordo com critérios estabelecidos a diante, porém, antes, é importante entender como o curso e a turma estudada foram desenhados para que a categorização faça sentido.

Estrutura geral do curso de especialização

O curso de Especialização em Ensino de Química ocorre no Colégio Pedro II, que é uma Instituição Federal de Ensino Básico e Tecnológico do Rio de Janeiro, foi estruturado durante o ano de 2018, para início em 2019 e possui chamadas anuais a partir de

um Edital³, proposto pelo Colegiado do curso. Esse Colegiado é composto por todos os docentes que lecionam nessa modalidade, além do aluno representante da turma vigente, cuja presença é facultativa.

O Edital de seleção propõe uma prova escrita, e os candidatos precisam ser licenciados em Química ou serem de alguma área afim (Química – bacharelado ou com atribuições tecnológicas, Tecnólogo, Engenharia Química, Farmácia ou Biologia), não havendo a necessidade de estarem atuando em sala de aula. Dessa forma, a cada ano, pode-se encontrar um número diferenciado de discentes na turma e com formações que não são necessariamente as mesmas elencadas no ano anterior, mas todos estão na grande área da Química e manifestam interesse em formação em Ensino de Química.

O corpo docente do curso é formado apenas por professores que lecionam no Ensino Básico desta mesma escola, não sendo permitido que docentes externos sejam responsáveis por uma disciplina, o que não exclui que participem como convidados em momentos oportunos. Ao todo, são 8 docentes, sendo um coordenador do curso e um coordenador geral do departamento de Química. Dos 8, 5 são doutores, e os demais mestres, que é o pré-requisito para fazer parte do corpo docente.

A estrutura curricular do curso atual não é a mesma daquela proposta inicialmente. Hoje, o curso é dividido em oito disciplinas, que são: Tópicos em Química Geral, Tópicos em Química Orgânica, Metodologia de Pesquisa, Práticas Inclusivas no Ensino de Química, Metodologias Alternativas no Ensino de Química, Oficinas para o Ensino de Química, Pesquisa Orientada, além da que aqui é estudada, Educação em Química, Sociedade e Ambiente. Em 2018, quando o curso estava sendo estruturado, houve a proposta da divisão de disciplina por docente. Cada responsável, então, propôs uma ementa e a apresentou ao grupo. A medida em que o curso foi iniciado, algumas ementas foram revistas e atualizadas, como esperado.

3. Para mais detalhes sobre o curso, acesse o endereço <http://www.cp2.g12.br/blog/propgpec/pos-graduacao/lato-sensu/quimica/apresentacao/>.

Desde que o curso foi elaborado, o objetivo central perseguido pelo corpo docente é possibilitar o professor a gerar uma atitude que contemple e desempenhe práticas adequadas para a produção do conhecimento. Portanto, auxilia no (1) aprofundamento dos conceitos que o cursista já traz e/ou (2) apresenta novos conceitos sobre Química e Educação e o incentiva a refletir e discutir sobre os papéis que o envolvem nos processos de interação do conhecimento visando transformações da sociedade. De acordo com o regulamento elaborado pelo corpo docente, são objetivos do curso

- Promover melhoria na formação específica do professor, através da discussão dos saberes curriculares específicos e pedagógicos;
- Apresentar ao professor estratégias pedagógicas alternativas no ensino de Química;
- Estabelecer um diálogo entre os saberes da área específica do professor e as demais áreas do conhecimento, visando uma sólida formação teórica, tecnológica, política e ética. (COLÉGIO PEDRO II, 2019, p. 4)

Dessa maneira, todas as disciplinas foram pensadas para que os objetivos acima citados sejam alcançados. Os tópicos em Química Geral e Orgânica aprofundam os conhecimentos teóricos que foram obtidos ao longo do processo de formação dos cursistas, e que são fundamentais para uma aula embasada no ensino básico. Já as Práticas Inclusivas propõem um estudo sobre o ensino de Química inclusive trabalhando diversas especificidades, enquanto as Metodologias Alternativas possibilitam os cursistas identificar caminhos para uma aula menos tradicional, conversando diretamente com os dois últimos objetivos e a formação mais crítica e focada na abordagem CTS e no ambiente, como é o caso da Educação em Química, Sociedade e Ambiente.

Outra proposta interessante é a ideia das Oficinas para o Ensino de Química, na qual pesquisadores referências em determinadas áreas, e externos ao corpo docente que atua na especialização, apresentam temas de interesse do ensino, como interdisciplinari-

dade, história da ciência, tecnologias digitais, dentre outros. A disciplina Metodologia de Pesquisa auxilia os cursistas na elaboração de seus projetos de pesquisa final, bem como na busca e análise de referências bibliográficas, enquanto a Pesquisa Orientada se resume à orientação individual que acontece entre cada docente e seu orientando.

O curso possui carga horária de 360 horas totais, sendo as disciplinas distribuídas ao longo de um ano e, ao final delas, cada cursista deve apresentar uma Monografia que é orientada por um dos professores do curso. Todo o material utilizado ao longo do ano foi disponibilizado na plataforma *Moodle*⁴, que é utilizada institucionalmente.

Durante o período pandêmico, no ano de 2021, as disciplinas precisaram ser ofertadas na modalidade remota, de acordo com a orientação do Conselho Nacional de Educação (CNE)⁵. Por ausência de orientação governamental e/ou institucional, o colegiado optou pela duração de 90 minutos por aula, com tolerância de 30 minutos a mais, levando em conta que muitos cursistas poderiam ainda lecionar ao longo da semana de forma remota, o que acarretaria um excesso de tempo de tela.

Além disso, uma mesma disciplina era lecionada em dois dias da semana (quinta e sábado), de maneira sequencial, a fim de que os cursistas conseguissem se dedicar exclusivamente ao que estava sendo lecionado por um único docente. Dessa maneira, em 2021, as aulas da disciplina deste trabalho ocorreram em dez encontros remotos de 90/120 minutos, e os detalhes desta turma serão expostos a seguir.

4. Acessada pelo endereço <https://ead.cp2.g12.br/login/index.php>

5. Disponível em https://normativasconselhos.mec.gov.br/normativa/pdf/CNE_PAR_CNE-CPN52020.pdf.

Detalhamento da turma do ano de 2021

A turma teve início em março de 2020, mas, devido à pandemia de COVID-19, ela foi interrompida antes mesmo que os discentes tivessem a primeira aula da primeira disciplina. No período entre março e setembro, as aulas se mantiveram suspensas, pois não era sabido se todos conseguiriam ter acesso remoto e se suas franquias de dados seriam suficientes para aulas síncronas.

O colégio não retornou presencialmente no ano de 2021 e, por isso, ficou acordado em colegiado que as aulas retornariam de maneira remota a partir de setembro, com a obrigatoriedade disciplinar de se utilizar a plataforma *Moodle* como parte da carga horária, já que foi acordado em Colegiado que não seria indicado que se ficasse as quatro horas previstas inicialmente em tela.

Essa intervenção, então, contou com a proposta de dez encontros, além de uma atividade no formato de fórum que foi colocada na plataforma digital, ofertados entre março e abril de 2021. A ideia foi organizar os dias por temáticas que pudessem ser debatidas ao longo de uma hora e meia (com a possível extensão de trinta minutos), modificando o que foi apontado pela primeira turma e que teve acordo da docente da disciplina após a reflexão. É válido pontuar que, a todo o momento, a abordagem CTS e os conceitos de QV se mantiveram entrelaçados, ou seja, mesmo que um dia fosse destinado apenas aos conceitos de QV, também era discutida a maneira de se trabalhar com eles no ensino básico, retornando ao CTS a todo tempo.

A turma era composta por 18 cursistas, todos oriundos de cursos de graduação de Química, seja bacharel ou licenciatura, sendo nove homens e nove mulheres. No entanto, devido ao aumento de trabalhos pessoais externos ao curso de especialização, somado às tarefas que as disciplinas disponibilizavam e ao tempo de tela que começou a ser muito elevado, 7 deles desistiram antes de chegar o momento da intervenção. Dessa forma, a turma foi composta por onze componentes, sendo seis homens e cinco mulheres.

Uma característica marcante dessa turma é que menos da metade (cinco) dos cursistas estava trabalhando em sala de aula. Desse, apenas três trabalhavam em colégios da rede pública, sendo que um era diretor de uma escola do estado do Rio de Janeiro. No início do curso, havia outro cursista que era diretor de escola, mas ele desistiu ao longo das disciplinas, devido aos fatores que já foram apontados.

Os encontros transcorreram conforme o cronograma apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Programação das aulas

1º	Apresentação dos integrantes do grupo. Apresentação da disciplina, ementa, rotina de trabalho, orientação geral sobre os textos, sistema de avaliação e estrutura do trabalho final. Apresentação de CTS e do artigo da QNESC. https://www.scielo.br/pdf/epec/v2n2/1983-2117-epec-2-02-00110.pdf
2º	Histórico QV – Eventos Desenvolvimento sustentável Definição QV Princípios QV Apresentação do artigo da Amazônia.
3º	Economia circular Chemical leasing Pegadas – ecológica, hídrica e de carbono
4º	Produção mais limpa Avaliação do ciclo de vida Biomassa Segurança química
5º	Métricas holísticas. Quadro Verde, Círculo Verde, Matriz Verde e Estrela Verde.
6º	CTS e o ensino – Capítulo 6 do livro.
7º	Técnica da controvérsia.
8º	Dilemas morais https://www.scielo.br/pdf/epec/v9n1/1983-2117-epec-9-01-00059.pdf
9º	http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc27/07-ibero-6.pdf http://revistas.rcaap.pt/interaccoes/article/view/6930/5182
10º	Apresentação dos trabalhos Feedback da disciplina

Fonte: BOUZON, 2022.

Como pode ser observado no quadro acima, ao final da disciplina, os cursistas apresentaram seus trabalhos que serão descritos a seguir.

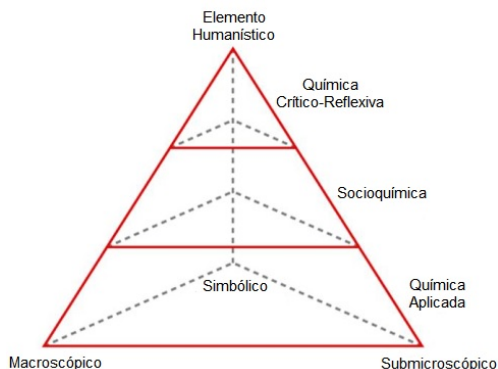
Categorização dos trabalhos propostos pelos cursistas

A fim de compreender melhor a forma como as propostas foram planejadas, bem como a profundidade das ideias nos trabalhos, foi feita uma categorização baseada nos princípios de Sjöström e Talanquer (2014) e Marcelino (2020).

É válido acrescentar que, além desses autores, outros pesquisadores também propuseram modelos para categorizar o ensino de QV (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012; GOES et al., 2013; SANDRI; FILHO, 2019). O objetivo em comum desses estudos com o que é proposto nessa análise é conseguir classificar os projetos sugeridos pelos cursistas partindo de uma vertente técnica e instrumental do ensino de Química em direção a uma perspectiva crítica e mais abrangente (ZUIN, 2011; MARQUES; MACHADO, 2014; MARQUES et al., 2007). Essa concepção vai ao encontro das discussões de Aikenhead (2009), referencial teórico desta pesquisa.

Sjöström dividiu, então, o ensino de Química em alguns patamares, levando em conta o quão humanista ele é. Essa divisão deu origem a um tetraedro (Figura 1), a partir do triângulo de Johnstone (1993) que é a base da pirâmide, meramente disciplinar, ao ápice do ensino humanístico, focado em contextos relevantes e aspectos sociocientíficos (SJÖSTRÖM, 2013).

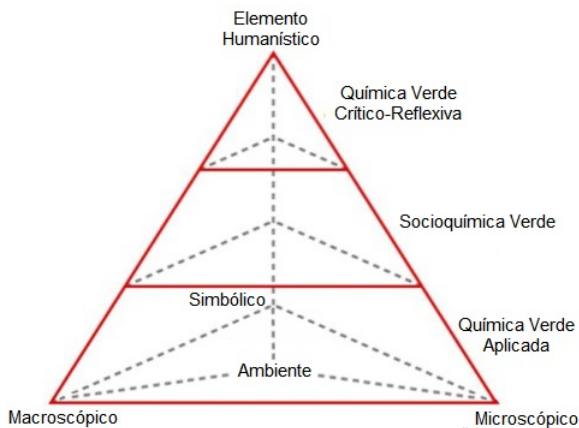
Figura 1 – Tetraedro de Sjöström para representar os Elementos que compõem o Ensino de Química



Fonte: SJÖSTRÖM, 2013, p.1881 (tradução própria).

O estudo de Marcelino (2020) complementa o tetraedro acima mencionado no sentido de analisar também o ensino de QV, focando em algumas particularidades que permeiam essa temática. Dessa forma, o novo tetraedro proposto pelo autor é adaptado do exposto acima, conta com o “ambiente” como item da base, já que é impossível falar de QV e não abordar o ambiente, e pode ser visto na figura 2.

Figura 2 – Tetraedro para representar os Elementos que compõem o Ensino de QV.



Fonte: MARCELINO, 2020, p.142.

Em relação a categorização nesta pesquisa, ao longo de cada apresentação, alguns pontos foram analisados e enquadrados den-

tro de quatro possibilidades advindas do tetraedro (SJÖSTROM; TALANQUER, 2014; MARCELINO, 2020):

- **Nível 0: Química Pura** – é a base triangular do tetraedro e traduz o foco no conhecimento disciplinar. Por ser focado na aprendizagem de conceitos teóricos básicos e técnicas experimentais, o aluno é induzido a confiar no raciocínio pautado por regras e enfatizar a manipulação de símbolos e formas. Nesse viés, não há a abordagem da QV, já que o objetivo é o conteúdo curricular de Química.

- **Nível 1: Química Aplicada** – utiliza-se de exemplos de aplicação para ilustrar a relevância dos aspectos sociais e da vida cotidiana no ensino de Química. Não há problematização e por muitas vezes os contextos são desconectados das implicações sociais, ambientais, etc., sendo abordados de maneira parcial e irrefletida. É possível que o raciocínio baseado em modelos seja favorecido com as discussões. Para a QV, esse nível traduz o uso de exemplos de práticas, além de conhecimentos da Química, que conseguem trazer impacto positivo para o ambiente. Dessa maneira, o objetivo não é colocar em prática a QV, mas informar que ela existe como um viés da Química.

- **Nível 2: Socioquímica** – enfatiza a tomada de decisão baseada na ciência sobre questões sociocientíficas. O conhecimento disciplinar é visto como um empreendimento humano, focando no desenvolvimento histórico do conteúdo que ali está sendo estudado para ensinar a natureza da ciência. Neste viés, muitas iniciativas podem ser vistas como exemplos de Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), referindo-se a questões sociais e ambientais relevantes. Espera-se que o estudante consiga discutir como usar modelos para prevenir problemas e encontrar soluções, dando significado ao conteúdo enquanto resolvem problemas autênticos. O mesmo é esperado em relação aos conceitos de QV, ou seja, discute-se questões inerentes ao caráter social, os problemas que estão relacionados, bem como a forma de responder a eles.

- **Nível 3: Química crítico-reflexiva** – nesse nível, problematiza-se tanto o conhecimento do conteúdo em Química quanto o

conhecimento sobre a Química, seu papel na sociedade e a forma como ela se comunica dentro e fora da sala de aula. O professor permite que seus alunos expressem suas opiniões, julgamentos e argumentos, indagando ideias e práticas científicas relacionadas a QV, bem como analisando valores que embasam as escolas dessa área. A ideia da tecnociência pode ser usada para orientar a análise crítica da natureza do conhecimento químico. Essa abordagem induz a explorar criticamente as diferentes formas de conhecer e gerar argumentos e explicações, inclusive da QV. O objetivo central é mostrar a complexidade da ciência, incluindo a relação com o ambiente, a tecnologia e a sociedade, além de deixar claro que o seu desenvolvimento não é linear e que diversas pessoas contribuem para a construção do conhecimento científico.

Para facilitar o enquadramento dos trabalhos em cada um desses pilares, critérios específicos nortearam a análise, que os autores chamam de facetas do conhecimento em Química (SJÖSTRÖM; TALANQUER, 2014) e podem ser encaixados em cada nível de acordo com os critérios presentes no quadro 3.

Quadro 3 – Critérios estabelecidos para os modelos de categorização

Facetas do Conhecimento Químico	Nível 0 Química pura	Nível 1 Química aplicada	Nível 2		Nível 3	
			a. Sócio-histórico	b. Sócio-científico	a. Sócio-cultural	b. Sócio-político
Questões essenciais	Foco em questões disciplinares centrais: que tipos de assunto existem?	Foco em questões de interesse público: como podemos projetar novos medicamentos?	Foco em questões sobre a natureza do conhecimento: como as ideias sobre estrutura atômica evoluíram?	Foco em questões de relevância para indivíduos e sociedades modernas: que tipo de gordura devemos comer?	Inclui questões sobre desenvolvimento e aplicação do conhecimento: quais fatores influenciam a escolha de combustíveis fósseis em detrimento de outras fontes?	Inclui questões centradas em valor de relevância para uma sociedade sustentável: os produtos químicos perfluorados devem ser permitidos na Terra?
Grandes ideias	Inclui ideias fundamentais na disciplina: a matéria é atômica	Inclui ideias de relevância nos tempos modernos: os motores de combustão produzem gases com efeito de estufa	Ver nível 0	Inclui ideias que integrem questões do CTSA: a química verde busca usar menos energia e produzir menos resíduos	Inclui ideias de compreensão e problematização de sistemas de ciência e tecnologia no contexto sociocultural	Inclui ideias que problematizem questões do CTSA visando a transformação para a cidadania crítica e a socioecojustia
Conceitos transversais	Referem-se a conceitos disciplinares centrais: ligação química	Referem-se a preocupações sociais atuais: poluição	Ver nível 0	Consulta as questões centrais do CTSA: desenvolvimento sustentável	Refere e problematiza questões centrais do CTSA: sustentabilidade	Ver nível 3a
Dimensões conceituais	Comumente focado na dimensão composição/ Estrutura	Tendem a se concentrar na composição/estrutura e dimensões de energia	Ver nível 0	Procuram integrar as dimensões composição/estrutura, energia e tempo	Ver nível 2b	Ver nível 2b
Tipos de conhecimento	Frequentemente enfatizando interpretação e manipulação de visualizações (representações simbólicas)	Ênfase em conectar experiências e modelos usando visualizações apropriadas	Ver nível 1	Ver nível 1	Ver nível 1	Ver nível 1
Escala dimensional	Comumente focado em descrições submicroscópicas	Focado na construção de conexões entre descrições macroscópicas e submicroscópicas	Ver nível 1	Focado na construção de conexões entre descrições em várias escalas dimensionais	Ver nível 2b	Ver nível 2b
Modos de raciocínio	Frequentemente enfatizando o raciocínio baseado em regras e casos	Ênfase no raciocínio baseado em casos e em modelos	Ênfase em modos de raciocínio apropriados para objetos e contextos específicos	Ver nível 2a	Ver nível 2a	Ver nível 2a
Questões contextuais	Se abordado, apenas como cenários isolados para problemas numéricos	Abordados de forma isolada ou para servir de guia na organização da apresentação do conteúdo fundamental de química	Imersão sociocultural de ideias científicas e trabalho de cientistas individuais	Questões contextuais usadas para organizar o currículo	Integração sociocultural da ciência e tecnologia	Questões crítico-democráticas usadas para envolver os alunos na tomada de decisões e atividades práticas em contextos locais e globais
Visão histórica	Não abordado	Abordadas meramente de forma isolada	Consideração de desenvolvimentos históricos de relevância para as questões em questão	Ver nível 2a	Consideração de contextos históricos	Consideração de contextos históricos no julgamento e tomada de decisão
Considerações filosóficas	Não abordado	Não abordado	Aspectos da natureza do conhecimento são considerados, incluindo a problematização de conceitos, leis e modelos químicos	Reconhecimento de dilemas éticos e morais	Considerações filosóficas sobre a natureza do conhecimento da química são levadas em conta	Considerações filosóficas incluem a integração de preocupações éticas e morais no julgamento, tomada de decisão e ações

Fonte: SJÖSTRÖM, TALANQUER, 2014, p.1129 (tradução própria).

É importante mencionar que os modelos posteriores sobrepujam os anteriores e são mais abrangentes, ou seja, podem manter ou ampliar alguma característica já citada nos antecedentes. Todavia, é possível que uma mesma proposta mescle elementos de diferentes modelos. O que foi levado em consideração, ao final da análise, foi a quantidade de critérios atendidos em cada modelo, resumindo, assim, a predominância de algum deles.

Análise e discussões

Os cursistas se dividiram em quatro grupos, sendo três com três componentes e um com dois. Cada grupo teve, em média, vinte minutos de apresentação para propor uma metodologia, ou sequência didática, que conseguisse inserir pelo menos um dos conceitos trabalhados na disciplina de QV a partir de uma abordagem CTS. Assim como na primeira intervenção, a ordem apresentada aqui será a mesma feita virtualmente durante a disciplina, e os comentários feitos pelos cursistas serão colocados ao final da descrição de cada grupo. Apenas como forma de diferenciação, a numeração dos grupos se iniciou de onde se encerrou a primeira contagem.

É importante pontuar, ainda, que nenhum trabalho desta turma foi aplicado, seja devido ao período pandêmico e à execução das aulas de forma remota, seja pelo fato da maioria dos cursistas não estar trabalhando em sala de aula enquanto a disciplina acontecia. Dessa maneira, assim como em 2019 (nos trabalhos que não foram aplicados), as discussões foram baseadas nas ideias propostas e nas experiências pessoais ao longo da prática docente deles.

Como o objetivo é analisar qual conceito de QV pode ser inserido em algum momento do currículo de Química do Ensino Básico com uma abordagem CTS, acredita-se que o fato de não aplicar os trabalhos não impacta nos resultados dos testes que foram aplicados, já que eles levam em consideração tudo o que foi discutido ao longo da disciplina, e não só a proposta do trabalho final. No entanto, é válido acrescentar que, assim como na primeira turma,

algumas propostas podem ficar inadequadas em relação ao tempo previsto, bem como à organização que o grupo propõe, visto que nem sempre o andamento de uma aula vai sair conforme o planejado. Nesse sentido, os grupos que conseguiram aplicar acabam tendo uma vantagem perante os demais porque foram capazes de ver o que deu certo e o que mudariam em uma próxima oportunidade.

Grupo 6 (T6): Lixo nuclear

O grupo começou com uma introdução a respeito do que havia sido pesquisado para contextualizar o motivo da escolha do tema. A ideia era propor um tema controverso e que não tivesse consenso e, por isso, escolheram a energia nuclear, que gera um desacordo entre ambientalistas do mundo todo. Inicialmente, foi mostrada a pegada média de carbono de uma matriz energética deste tipo que é de três a quatro vezes menor do que a energia solar e, ainda, setenta vezes menor do que as de usinas a carvão. No entanto, essas indústrias geram lixos que são radioativos e que podem permanecer por longos anos no planeta.

Dessa maneira, a proposta dividida em três aulas seria aplicada na 3ª série do Ensino Médio e focava no ciclo de vida dos produtos, desde seu projeto, fabricação e uso, até o seu descarte final, se utilizando de uma controvérsia controlada⁶ para alimentar a discussão.

A primeira aula seria destinada ao cenário teórico, relacionando os processos de obtenção de energia com as reações de fissão e fusão nuclear, chegando aos resíduos radioativos. Nesta aula, também, seria confeccionada uma nuvem de palavras a partir do software *Mentimeter*⁷, a fim de conhecer os conceitos prévios dos alunos acerca da temática de lixo nuclear. Nesse momento, já seria informado aos estudantes que um trabalho seria feito com esse tema e que eles deveriam se inteirar mais com pesquisas e informações que julgassem pertinentes.

6. Para saber mais sobre controvérsia controlada, acesse <https://proa.ua.pt/index.php/id/article/view/6103>.

7. Disponível em <https://www.mentimeter.com/>.

Na segunda aula, haveria uma discussão a respeito da produção e do destino do lixo nuclear, com relações ao conceito de pegadas ecológicas. Nesse sentido, seria proposta uma controvérsia a respeito da exportação de lixo nuclear entre países, principalmente os desenvolvidos e subdesenvolvidos, mediante acordo de cooperação econômica intercontinental e transporte por via marítima. A sensibilização seria feita a partir da nuvem de palavras obtidas na aula anterior.

Os alunos teriam, então, duas semanas para pesquisa direcionada a cada ator social, que seriam: país desenvolvido, país subdesenvolvido (os alunos teriam que se dividir em dois grupos para representar seus governantes e a população), responsável pelo transporte e ambientalistas/ONU. Além disso, seria recomendado que todos mencionassem em seus argumentos algo relacionado às pegadas ecológicas e/ou ao conteúdo de reações nucleares.

Ao final do processo, seria feita uma nova nuvem de palavras, uma autoavaliação para que se conseguisse entender qual o impacto que a controvérsia teve para os discentes, além das percepções do docente que participou ativamente do processo. Nessa avaliação do professor, seriam avaliados os conceitos de QV, o embasamento teórico para a argumentação feita pelo ator social, a clareza e coerência dos argumentos e a criatividade de cada grupo.

Terminada a apresentação do grupo, alguns cursistas colocaram suas opiniões sobre a proposta:

“A ideia do grupo parece ser viável de aplicar, mas acredito que a distribuição do tempo não seja a mais adequada, principalmente se tratando de uma escola particular e de 3ª série do Ensino Médio, que estão mais focados em ENEM. Acho que a sensibilização poderia ser feita com mais material e não só com a nuvem de palavras, até para trazer uma criticidade maior já de cara para eles.” (Cursista 12)

“Gostei bastante do tema, principalmente porque é algo que a gente nunca discute com os alunos e que tem uma dimensão grande, principalmente a nível global. Eu talvez trouxesse uma questão histórica para a con-

textualização, porque falaram de confrontar países desenvolvidos e subdesenvolvidos, mas não houve uma menção a isso anteriormente. Talvez pudesse ficar mais interessante e interdisciplinar, trazendo a geografia e a história juntos.” (Cursista 10)

“Sempre dei essa aula e nunca pensei em trazer uma discussão para lixo radioativo. Consigo perceber uma proposta crítica e muito embasada. Se eu não tivesse o cronograma tão corrido tentaria aplicar nas minhas turmas. Aliás, o tempo pareceu pouco para a discussão.” (Cursista 16)

“A ideia de confrontar os países é sensacional e poderia trazer uma discussão completamente interdisciplinar. Já estou pensando em falar com professores da minha escola para a gente conseguir fazer um projeto semelhante a esse, mas acho que vai ser no 2º ano. Agradeço aos colegas do grupo pela ideia, mas com certeza vou dar mais tempo para meus alunos pesquisarem, coitados. É muito complexo para a cabeça deles organizar tudo em pouco tempo.” (Cursista 17)

“Apesar do tema trazer uma criticidade profunda, principalmente quando se fala de confrontar pegadas ecológicas, acredito que o início da proposta poderia ser mais CTS para que os alunos sejam motivados. Na minha cabeça pareceu que só a controvérsia foi CTS, sabe? Senti falta de uma proposta de discussão anterior, talvez até na parte do conteúdo, para que eles possam fazer um link com o que vão discutir depois para não parecer um trabalho descolado do conteúdo. Já ouvi em aula particular alguns alunos falando que não entendem por que o professor passa algum trabalho se não tem nada a ver com o que eles aprendem em sala de aula. Temos que ter cuidado com isso!” (Cursista 15)

A partir do que foi colocado por alguns cursistas, a docente da disciplina aproveitou para fazer seus comentários a respeito do proposto pelo grupo, enfatizando que era bastante interessante discutir esse tema a partir das reações nucleares, principalmente pelos alunos sempre acharem que é um tema distante da realidade deles.

No entanto, a docente reforçou que a contextualização histórica poderia ter sido feita no momento da sensibilização, e a abordagem CTS já poderia estar presente desde a apresentação dos conteúdos, conforme os colegas falaram. Ainda assim, a proposta seria válida por agregar conceitos de QV e a abordagem CTS.

Grupo 7 (T7): BBB, Ifood e polímeros: um olhar mais verde

O grupo iniciou a apresentação problematizando a expansão brasileira de entrega de produtos, principalmente comidas, na pandemia, pontuando que isso trazia uma necessidade de reflexão, principalmente em relação ao sistema de entrega e ao consumo de plástico exagerado. Nesse sentido, mostraram uma campanha chamada “#DeLivredePlástico”⁸, fazendo referência ao sistema de *delivery* e o tanto de plástico que é consumido por cada habitante brasileiro.

Aliado a esse movimento, resgataram a problemática dos canudos de plástico descartáveis que foram proibidos em bares e restaurantes do Rio de Janeiro e São Paulo, evidenciando que apenas nove estados brasileiros atuam nessa missão⁹. Sendo assim, apontaram que essa temática não é discutida nas escolas e que a geração milênio (ou Y, dos nascidos depois de 1980) possui uma forte afinidade em relação à sustentabilidade, ou seja, marcas que demonstram pensamentos sustentáveis têm mais chance de obter sucesso e atrair o público que mais consome atualmente esse tipo de produto¹⁰.

A ideia do grupo, então, foi propor uma sequência didática dividida em quatro momentos para alunos da 3ª série do Ensino Médio, em ensino remoto, no momento que for trabalhada a temática de polímeros. Dentro do conteúdo, haveria a discussão de biomassa, economia circular e matriz verde adaptada a partir de en-

8. A campanha preza pelas embalagens livres de plásticos descartáveis. Maiores informações podem ser acessadas no link <https://brasil.oceana.org/campanhas/delivredeplastico/>.

9. Disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/01/em-um-ano-canudos-de-plastico-sao-proibidos-em-8-estados-e-no-df.shtml>.

10. Para maiores detalhes, acesse <https://www.preparedfoods.com/articles/119044-millennials-impact-food-packaging-trends>.

xerto CTS¹¹. Além disso, a estruturação foi pautada na competência específica 3 da BNCC¹² e no currículo mínimo do estado do Rio de Janeiro¹³ que abrange habilidades e competências para a problematização do uso de plásticos no cotidiano, passando por poluição, armazenamento, reciclagem e incineração.

O primeiro momento seria para apresentação dos conteúdos bases: o que são polímeros; os naturais e sintéticos, termofixos e termoplásticos; polímeros de adição, condensação e copolímeros; identificação de polímeros em utensílios plásticos e em biomoléculas, como carboidratos, proteínas etc.

O segundo momento seria de sensibilização: seriam projetadas imagens de um *reality show* que mostram a quantidade de plástico enviada para apenas um participante, bem como uma imagem da mudança feita para papel posteriormente. Além dessas, seria apresentada uma que mostra uma sacola que foi reutilizada para entrega da comida pelo sistema *delivery* e o recipiente que era feito da mandioca e que uma participante se questionou se poderia comer.

Nesse momento, eles trouxeram o posicionamento da rede de *delivery Ifood*¹⁴ que busca a redução do uso do plástico, dando lugar às embalagens sustentáveis. Em seguida, mostraram um vídeo de uma estudante e pesquisadora que questiona o porquê de produzir uma embalagem feita de fécula de mandioca¹⁵. Além disso, propuseram uma dinâmica na qual discutiriam “o que é ser “bio”?” e, a partir dela, um questionário feito para indicar o grau de concordância/discordância dos alunos, feito no software *Mentimeter*, com perguntas acerca dos bioplásticos e das embalagens sustentáveis (Quadro 4).

11. Para saber mais sobre o enxerto CTS e as demais modalidades do Ensino CTS, acesse <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/S97k6qQ6QxbyfyGZ5KysNqs/?format=pdf&lang=pt>.

12. Disponível em http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_ver-saofinal_site.pdf.

13. Disponível em <https://cedcrj.files.wordpress.com/2018/03/quc3admica.pdf>.

14. Para maiores detalhes, acesse <https://www.ifood.com.br/>.

15. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=kMiZx2i9Dww>.

Quadro 4 – Perguntas propostas pelo grupo.

A partir da escala abaixo, julgue as frases de acordo com o seu conhecimento.

(1) Nem pensar. Discordamos muito.

(2) Discordamos em parte.

(3) Não chegamos a um consenso. Precisamos conhecer mais.

(4) Está no caminho certo, mas há pontos incorretos ou pouco precisos.

(5) Com certeza. Concordamos totalmente!

- São constituídos por polímeros assim como os plásticos convencionais.

- Apesar do processo produtivo evitar o uso de derivados de petróleo, o consumo energético empregado para separação e purificação de bioplástico de origem fermentativa é muito alto.

- O termo bioplástico está associado à origem (De onde vem o material que é empregado para produzi-lo?) e do seu destino (O que acontece e para onde vai o material depois de utilizado?). Bioplásticos, conceitualmente, não têm origem no petróleo e são totalmente biodegradáveis.

- Comparado aos plásticos convencionais, os bioplásticos emitem menos gases do efeito estufa durante o seu ciclo de vida (do projeto ao descarte).

- Um polímero constituído 100% de origem fóssil e que seja biodegradável pode ser classificado como biopolímero. Contudo, seu compromisso com a sustentabilidade é desprezível, pois não houve melhoria na principal etapa, que é a produtiva.

- Um aspecto desagradável de algumas embalagens sustentáveis é a sua falta de higiene, porque a sua produção pode incorporar matéria orgânica podre e outros tipos de poluentes.

- A adoção em massa destas embalagens não seria um problema, porque os bioplásticos biodegradáveis podem ser destinados a aterros sanitários.

- Para o enfrentamento da pandemia de Covid-19, o uso de plástico descartáveis comuns trazem maior segurança sanitária. Este fator pode representar uma forte ameaça à adoção de embalagens sustentáveis neste momento.

- Embalagens sustentáveis de papel, mesmo que tenham um conceito e *design* interessantes, causam uma pressão na produção de papel que, consequentemente, provoca um aumento significativo do desmatamento.

- Considerando que as embalagens sustentáveis representarão aumento de custo para o consumidor final, uma boa estratégia para sua implementação progressiva é a possibilidade de o consumidor escolher por poluir menos e pagar mais por elas.

- As embalagens sustentáveis são inviáveis se pensarmos no perfil socioeconômico do Brasil. Por isto, a opção de utilizar plásticos recicláveis e reforçar o compromisso com a logística reversa pelos aplicativos de *delivery* (devolver a embalagem ao vendedor) deveria ser priorizada.

- A adoção de embalagens reutilizáveis ao invés de embalagens descartáveis é um desafio enorme, mas não é impossível. Se houver um debate que envolva a sociedade, indústria e ambientalistas, com um cronograma com metas de transição, o sonho pode se tornar realidade.

Fonte: BOUZON, 2022.

O terceiro momento seria destinado aos conceitos de QV em si e foi iniciado com a apresentação de uma empresa do sul do Brasil (Terraw)¹⁶ que produz embalagens com as fibras das plantas, como

16. Para maiores informações, acesse <https://terrawembalagens.com.br/>.

a palha de trigo e o bagaço de cana que, teoricamente, são resíduos de indústrias. O descarte é feito preferencialmente em uma composteira ou são retornadas a uma empresa parceira de gestão de resíduos e, por isso, os produtos se desintegram em até três meses, e se degradam completamente em até seis meses. Essa é uma proposta de economia circular focada na gestão do resíduo que seria exposta para os alunos, além da apresentação de outras fontes de biomassa que existem no Brasil e em outros países.

Em seguida, as moléculas de bioplásticos seriam apresentadas e analisadas em relação aos polímeros estudados inicialmente, e os discentes compreenderiam como as iniciativas nesse setor favorecem à circularidade da economia e agregam sustentabilidade ao ciclo de vida de embalagens. Apesar de ser uma tarefa complexa, o olhar sistêmico sobre todo o ciclo de vida é importante para a tomada de decisões.

Dessa forma, uma atividade relacionada à adaptação da matriz verde seria proposta: a nova matriz envolveria quatro quadrantes (fonte renovável ou fonte fóssil, não biodegradável ou biodegradável) e os alunos teriam que incluir quatro tipos de plásticos (ácido polilático, polietileno verde, polipropileno e polietileno adipato co-tereftalato) no seu devido quadrante. Para isso, teriam que buscar as informações nas FISPQ e avaliar em que situação cada um deles se encontrava. Dessa atividade, haveria um debate sobre a importância de se substituir alguns materiais por outros que possam ser menos agressivos, principalmente caso o descarte seja feito de forma inadequada.

A avaliação dessa sequência seria feita em uma atividade em grupo cujo tema seria “é possível um *delivery* sem plástico descartável?”, na qual cada grupo receberia uma nova adaptação dos quadrantes utilizados na matriz verde para o seu tipo de embalagem, sendo que os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças seriam substituídos por: custa caro? Impacta negativamente o meio ambiente? É bom para o consumidor? É viável em larga escala?

Além dessa avaliação, o grupo trouxe duas atividades interdisciplinares que poderiam ser propostas a longo prazo, sendo a

primeira uma redação colaborativa da turma a respeito de temas como “carta dos alunos para a Baía de Guanabara: orgulhos e arrependimentos” ou, ainda, “autobiografia de embalagem plástica de *delivery*: da glória à frustração”. Já a segunda atividade teria o tema “reusando melodias e reciclando letras”, na qual os estudantes teriam que criar paródias com temáticas ambientais.

Ao final da apresentação, os cursistas da turma ficaram surpresos com a complexidade da proposta feita pelos colegas e fizeram comentários elogiando o grupo:

“Eu simplesmente amei tudo! Eu nunca tinha pensado em trabalhar algo nesse sentido, tentando trazer o que a gente aprendeu em métricas para sala de aula, como a matriz, ou até mesmo pensando nas letras de música. Foi muito sensacional!” (Cursista 11)

“Ainda bem que a gente apresentou antes do grupo porque não passamos vergonha. A proposta é perfeita, sem tirar nem por. Completa, complexa, muita coisa de CTS, de envolvimento dos estudantes, parabéns aos envolvidos.” (Cursista 13)

“Parabéns aos colegas, mas eu discordo da fala anterior. Eu acho que a questão do tempo é muito importante da gente refletir. Talvez, como vocês não aplicaram, acabaram não percebendo que um tempo para cada coisa complexa dessas que vocês falaram é muito pouco. Seria muito bom conseguir expandir e eu entendo o motivo de vocês reduzirem, mas não dá para fingir que o tempo está adequado.” (Cursista 18)

“Só uma dúvida, de onde vocês tiraram tantas ideias CTS e de tantas coisas que trabalhamos ao longo das aulas? Surreal! Parabéns, mesmo!” (Cursista 14)

O ponto que foi discutido com maior profundidade foi realmente o tempo proposto por eles e, após o alerta da docente da disciplina e do cursista 18, todos concordaram que esse tempo era muito pequeno comparado ao que eles estavam tendo como ideia. Levantou-se, então, a possibilidade de deixar o tempo de cada tópico da sequência didática em aberto para que aqueles que sentirem

interesse em aplicá-la adaptem de acordo com o cronograma de suas escolas.

Grupo 8 (T8): Descarte de lixo e o impacto sobre o ambiente

Os cursistas apresentaram uma proposta de sequência didática que pode ser aplicada em turmas de alunos do 9º ano do Ensino Fundamental ao 3º ano do Ensino Médio. Dessa forma, cada docente ajustaria o que é proposto na sequência aos conteúdos que são lecionados em cada série especificamente. Inicialmente, a proposta é de se utilizar aproximadamente cinco aulas, mas com a possibilidade de adaptação.

A primeira e a segunda aulas seriam destinadas à importância do gerenciamento correto do lixo. Para tal, seriam apresentados dados sobre a geração de lixo no Brasil, falando sobre a gestão brasileira de resíduos sólidos¹⁷, que é de responsabilidade de cada gerador, seja em casa ou nas organizações e ressaltando que cada resíduo possui uma destinação específica, conforme sua natureza e características. Em seguida, seria abordada a política de gerenciamento dos resíduos sólidos, objetivando reduzir o volume, dar o tratamento adequado e conscientizar os responsáveis acerca das boas práticas ambientais para a correta gestão. Dessa forma, seria discutida a importância da política dos 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) para minimizar os impactos negativos do descarte inadequado.

Nesse sentido, a reciclagem teria um foco maior, ressaltando a importância dela e de seus diversos tipos, além de mostrar a diferença das lixeiras que existem em diversos lugares, sendo que em muitos deles não há nenhuma indicação do que deve ser jogado em cada cor. Além disso, seria transmitido um vídeo que fala sobre a Avaliação do Ciclo de Vida do chinelo de borracha¹⁸ e o consumo consciente, relacionando com os diversos produtos que são consumidos no dia a dia pelos estudantes.

Na terceira aula, um questionário a respeito dos principais hábitos de consumo seria respondido pelos estudantes e, a partir das

17. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

18. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=rjYqLOxsPFc>.

respostas, haveria uma discussão sobre como esses hábitos influenciam na quantidade de resíduo gerada por cada aluno. A partir daí, a proposta seria discutir sobre os impactos que existem, pensando em medidas de pequena e grande escalas para resolver a questão do descarte de baterias, do consumo exacerbado de embalagens e de plástico, dentre outras situações que poderiam surgir ao longo das discussões.

A quarta aula seria focada na Avaliação do Ciclo de Vida e a problematização da grande quantidade de embalagens usada pela população, que já havia sido levantada na aula anterior. Nesse movimento, seriam mostradas algumas Avaliações que já existem na literatura a respeito das caixas de papelão e das embalagens plásticas, mostrando a importância de se analisar desde o início do ciclo até o momento do descarte. Ao final da aula, cada grupo tiraria a sua própria conclusão a respeito do que seria mais adequado para cada critério do ciclo de vida.

Na última aula, seria feita uma roda de discussão a respeito do descarte de pilhas e baterias, propondo as seguintes perguntas: quem são os responsáveis pelo recolhimento desse tipo de lixo? Onde deve ser feito o descarte? Existem fatores políticos relacionados a isso? Quais são os impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado? Isso me afeta como sociedade? A partir dessa discussão, os alunos se dividiriam em grupos e produziram cartazes destinados à conscientização da comunidade escolar em relação a esse tema.

Como pode ser observada, essa é uma sequência didática que se adequa facilmente às séries, ou seja, dependendo do conteúdo que é destinado a uma série específica, o enfoque poderá ser maior ou menor em uma das aulas. Alguns exemplos de conteúdos que podem ser introduzidos nessa sequência e que foram levantados pelos componentes do grupo são: separação de misturas (para o 9º ano do fundamental ou 1º ano do ensino médio), polímeros e eletroquímica.

Ao final da apresentação, alguns comentários foram feitos:

“As perguntas levantadas na última aula e a proposta de confeccionar cartaz é bem interessante e reflete a parte de conscientização proposta pela QV. Bem interessante! O bom é que dá para aplicar em vários momentos a mesma sequência.” (Cursista 19)

“Fico me questionando até que ponto é bom realmente poder aplicar em vários momentos. Acho que ficaria mais completo se os colegas colocassem a sequência didática completa de cada tópico que eles disseram que pode trabalhar, afinal, não acho que a mesma discussão CTS caberia para várias séries diferentes, principalmente pela maturidade que os alunos têm.” (Cursista 10)

“A parte política é interessante porque muita gente nem sabe que existe no Brasil e saber é sinônimo de cobrar das autoridades. Gostei bastante, mas fiquei um pouco perdido também de como fazer essa sequência se não tem o questionário, se não sei qual avaliação pegar na literatura.” (Cursista 13)

A docente concordou com a fala dos cursistas de que o tema é interessante, de fato, mas a proposta carece de detalhes que são importantes para quem quiser se apropriar dela. Se há um objetivo bem estabelecido, não há motivo para não pré-estabelecer o questionário e a bibliografia que serão utilizados. Nesse ponto, os cursistas do grupo concordaram com a professora e alegaram que, dependendo da série, usariam questionários diferentes. A discussão então, ficou centrada na dificuldade que é se apropriar da mesma sequência para séries distintas, principalmente por causa da diferença de idade e, conseqüentemente, da maturidade dos estudantes.

Grupo 9 (T9): A 1ª Guerra Mundial e a Química por trás dela

O grupo começou mostrando as inspirações para a escolha do tema e a proposta da sequência didática: o artigo trabalhado na disciplina, de Santos e Mortimer (2002), junto com a questão dos mitos do salvacionismo e da neutralidade científica, e um artigo da revista Química Nova na Escola que aborda o ensino de Equilíbrio

Químico na síntese de amônia e no programa de armas durante a Primeira Guerra Mundial¹⁹.

Com isso, a sequência didática se dividiria em quatro momentos:

Momento zero: seria solicitado aos estudantes que pesquisassem três grandes descobertas científicas e, em dois parágrafos, argumentassem sobre qual dessas teve o maior impacto, sem especificar se é social, econômico, político etc., justamente para colher deles suas próprias percepções de valor;

Momento 1: as descobertas escolhidas seriam apresentadas e argumentadas, e, com o auxílio do *Mentimeter*, seria confeccionada uma nuvem de palavras interativa com as que eles considerariam mais importantes. Nesse momento também seria apresentado um vídeo²⁰ que mostra como a ciência agiu na primeira guerra mundial, em relação à confecção de armas químicas e ao desenvolvimento de novas máscaras. O objetivo desse vídeo na sequência didática é que os alunos consigam relacionar a busca por soluções da ciência a uma determinada demanda, seja ela política, social, econômica, esclarecendo o real objetivo da ciência e a sua não neutralidade.

Momento 2: as reações químicas que são envolvidas no processo bélico seriam relacionadas ao conteúdo de Química Orgânica, sendo solicitado aos alunos que montassem as moléculas orgânicas a partir de um jogo adaptado de um trabalho do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ)²¹. A partir dessa confecção, haveria uma discussão a respeito do processo de produção de moléculas, ou seja, como foi feito no jogo e como as indústrias realmente produzem.

Momento 3: baseado na contraposição feita no momento anterior e com o auxílio de um artigo da Química Nova²², os alunos

19. Disponível em http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc40_1/07-RSA-12-17.pdf

20. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=sVUy0hQ9Kxw>.

21. Disponível em <http://www.eventoexpress.com.br/cd-36rasbq/resumos/T0716-1.pdf>. As moléculas a serem montadas seriam as específicas apresentadas nas reações anteriores. Dessa forma, as regras de pontuação precisariam ser repensadas e seriam focadas nas temperaturas de ebulição das diferentes moléculas. Quanto maior a temperatura da molécula confeccionada, mais pontos o grupo obterá.

22. Disponível em <https://www.scielo.br/j/qn/a/H9JXbsRj9fGznjW9PHbZP6G/?lang=pt>.

relacionariam as moléculas às suas propriedades físico-químicas, entendendo a importância delas para o processo de obtenção dos compostos e à segurança química. Nesse momento, os princípios da QV seriam relacionados e haveria uma discussão acerca da necessidade dessa filosofia ser difundida para que todos tenham noção de que os processos podem ser alterados visando a segurança de quem os fazem.

Terminada a apresentação, os colegas de turma teceram alguns comentários a respeito da sequência proposta:

“Parabéns ao grupo. Jamais conseguiria pensar em algo com tanta contextualização histórica e interdisciplinar. Eu precisaria reaprender tudo o que já tive sobre 1ª Guerra para me sentir a vontade de dar essa aula. Sensacional!” (Cursista 20)

“Eu achei bem interessante a parte de história que vem agregada à proposta, mas achei que faltou uma discussão mais crítica da situação, mais CTS. Na minha cabeça, isso ficou apenas no momento 1, sendo que poderia ter sido levado para o jogo, por exemplo. Seria mais complicado, mas talvez mais completo. De qualquer forma, é muito instigante ver esse projeto.” (Cursista 17)

“Proposta complexa e desafiadora, principalmente para a gente que teve uma formação totalmente disciplinar. Parabéns ao grupo por conseguir ir além da Química. Eu tentaria só organizar para fazer em um outro momento, e talvez usar outro conteúdo de orgânica, para que o conteúdo case com a História, mas nem sei se isso é possível. Parabéns, mais uma vez!” (Cursista 11)

Essa proposta de sequência didática é interessante porque relaciona a Química com o contexto histórico e é interdisciplinar. Apesar de ter sido pensada para o conteúdo de propriedades físico-químicas, conseguiria ser aproveitada para outros conteúdos, como o de funções e reações orgânicas, além de outros que os docentes consigam adaptar.

Resultados da categorização

A partir das apresentações feitas pelos cursistas, os trabalhos foram categorizados de acordo com os mesmos critérios expostos na metodologia e no Quadro 2. Ao final da categorização, contabilizou-se quantos critérios de cada nível foram atendidos, a fim de alocar cada proposta em um nível específico do tetraedro. Os resultados da categorização podem ser observados no Quadro 5.

Quadro 5 – Categorização dos trabalhos de 2021

Facetas do Conhecimento Químico	Nível 0 Química pura	Nível 1 Química aplicada	Nível 2		Nível 3	
			a. Socio-histórico	b. Socio-científico	a. Socio-cultural	b. Socio-político
Questões essenciais			T9	T8	T7	T6
Grandes ideias			*	T9	T6; T7; T8	
Conceitos transversais	T9		*		T6; T7; T8	*
Dimensões conceituais		T8; T9	*	T6; T7	*	*
Tipos de conhecimento		T6; T7; T8; T9	*	*	*	*
Escalas dimensionais			*	T6; T7; T8; T9	*	*
Modos de raciocínio		T9	T6; T7; T8	*	*	*
Questões contextuais			T9		T7; T8	T6
Visão histórica	T8	T6	T7		T9	
Considerações filosóficas			T8; T9	T6		T7

Fonte: BOUZON, 2022.

A análise retrata que a maioria dos trabalhos foi enquadrada no segundo nível do tetraedro, sendo que apenas um trouxe uma proposta crítico-reflexiva para abordar os conceitos de QV no Ensino Básico. No entanto, é importante que alguns pontos sejam discutidos.

A primeira observação relevante é a presença de dois trabalhos classificados no nível 0 (Química pura) em algum dos critérios: o grupo que propôs a dinâmica de descarte de lixo (T8) não

abordou a visão histórica em nenhum momento da apresentação, assim como o último grupo (T9) ficou focado apenas em conceitos centrais da Química, que foi o caso das propriedades físico-químicas dos compostos orgânicos. É válido ressaltar que essa análise foi feita baseada apenas na apresentação das propostas dos grupos, e que elas não foram aplicadas. Dessa maneira, não é possível dizer se esses critérios não seriam atendidos de fato no momento da execução, o que pode impactar diretamente no enquadramento no tetraedro.

Apesar de isso ter acontecido, os demais critérios destes dois trabalhos os fizeram pertencer ao segundo nível do tetraedro. O primeiro deles (T8) atendeu a facetas dos quatro níveis propostos, sendo três delas naquele considerado mais crítico, mas a maioria deles se dividiu entre uma abordagem socio-histórica e sociocientífica. Isso mostra que houve uma preocupação em abordar questões sociais e ambientais que são relevantes, e se concentram na preocupação com o descarte dos resíduos para atenuar o impacto ambiental. No entanto, por não integrar as visões filosófica, histórica e sociológica, esta proposta se enquadra no segundo patamar.

Em relação ao grupo que trouxe a temática da 1ª Guerra Mundial para trabalhar os princípios da QV, a segurança química e as propriedades físico-químicas dos compostos orgânicos, diferente do anterior, apenas a visão histórica foi categorizada como um fator de maior criticidade para a proposta, o que já era esperado, uma vez que o grupo considerou um contexto histórico relevante que iniciaria a discussão. Em contrapartida, os demais fatores se dividiram entre as vertentes do segundo nível, caracterizando um planejamento pautado em um viés socio-histórico.

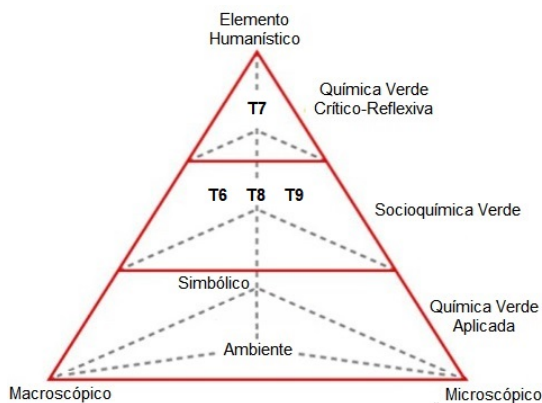
O trabalho que propôs a execução da controvérsia a respeito de energia nuclear (T6) também foi alocado no mesmo andar do tetraedro dos que já foram mencionados. Pode-se perceber que o número de critérios atendidos no segundo e terceiro níveis foi o mesmo, porém como a visão histórica foi desenvolvida apenas no momento das pegadas ecológicas, esta faceta foi encaixada no patamar da Química aplicada. Esse fator foi usado como motivador

para desempatar e categorizar a proposta como Socioquímica Verde e não como Crítico-Reflexiva.

O único trabalho que foi qualificado para o nível mais alto do tetraedro foi o que abordou o ensino de polímeros a partir de um olhar crítico e sustentável. Mesmo sem ser aplicada, a ideia do grupo agregou possibilidades de discussões e dinâmicas que envolvem o cotidiano da população brasileira, além de trazer à tona a problemática do termo “bio”. Além disso, os cursistas conseguiram pensar em uma adaptação da matriz verde e atividades que poderiam ser feitas em parceria com docentes de outras disciplinas.

A complexidade e a completude da proposta foram refletidas principalmente na idealização e fomento a todo tempo a participação dos estudantes. Soma-se a isto o fato de os cursistas trabalharem não só o conhecimento do conteúdo em Química, mas também aquele sobre a natureza da Química, evidenciando o seu papel na sociedade, além da forma como ela comunicada dentro e fora da sala de aula, não se reduzindo à aplicação dos doze princípios. Nesse sentido, T7 foi enquadrado no perfil da Química Verde Crítico-Reflexiva, e a organização do tetraedro pode ser vista na Figura 3.

Figura 3 – Tetraedro de Sjöström [adaptado por Marcelino (2020)] para a turma de 2021



Fonte: BOUZON, 2022.

É possível observar que nenhuma proposta ficou no nível 0, que é considerado como Química Pura. No entanto, assim como já foi mencionado, é importante lembrar que dois grupos apresenta-

ram facetas nesse patamar, o que pode ser característica do ensino que tiveram ao longo de suas trajetórias e que ainda não foi totalmente superado.

Os trabalhos dessa aplicação se situaram, majoritariamente, no nível da Socioquímica verde, enquanto um deles propôs uma sequência didática de forma mais crítica, sendo considerado como Química Verde Crítico-Reflexiva. Esses resultados foram considerados positivos, mesmo sem a aplicação das propostas, porque demonstram que os cursistas conseguiram compreender o objetivo principal da disciplina e do que foi proposto no trabalho. No entanto, a docente considera que, com resultados advindos das execuções, a análise poderia ter sido feita de forma mais completa, retratando de maneira mais fidedigna as ideias que foram apresentadas e deram certo (ou não).

Considerações finais

A QV despontou nos anos 90, pautada em doze princípios, como uma forma de enfrentamento aos problemas socioambientais. É notório que os danos gerados, especialmente aqueles que envolveram tragédias com seres humanos, e que são provenientes das atividades químicas, foram decisivos para que as práticas químicas fossem revistas.

No entanto, ainda é comum que esse novo olhar para as práticas químicas se resuma apenas ao espaço físico da indústria e/ou do laboratório, se preocupando mais com os procedimentos químicos complexos em si do que com a filosofia verde por trás da proposta sustentável da Química, que deveria ser abrangida para toda a população que tem contato com produtos químicos diariamente. Nesse sentido, a QV acaba sendo alvo de pesquisas majoritariamente no Ensino Superior e em cursos mais técnicos, como as engenharias e o bacharel, se afastando da licenciatura.

Além disso, é importante pontuar que, por muitas vezes, esses mesmos cursos de educação não trazem, ainda, a proposta de

superação de um ensino linear, cuja ciência é baseada em verdades acabadas e neutras. Dessa maneira, é comum que os estudantes, quando formados, questionem a validade do ensino que eles mesmos colocam em prática quando lidam com alunos desinteressados.

Como já debatido anteriormente, para que a alfabetização científica seja viável em todos os níveis educacionais possíveis, é preciso que os docentes reflitam sobre qual é o propósito do ensino de ciências e, conseqüentemente, o de Química no caso da ciência específica, para o século atual. Para tal, é de direito que recebam uma formação adequada às orientações do movimento CTS que busca a análise da ciência e da tecnologia como um processo de construção social, sem massificar o conteúdo científico (CUTCLIFFE, 2003; AIKENHEAD, 1994).

Sendo assim, a ideia da construção da disciplina elaborada e estudada foi permitir que os professores que não tiveram oportunidade de lidar com essa perspectiva mais sustentável da Química ao longo de suas formações pudessem refletir sobre suas práticas, a fim de buscar um ensino de Química mais preocupado com o ambiente e com a criticidade dos discentes. A fim de entender se os cursistas conseguiriam trabalhar esses conceitos no ensino básico, foi solicitado que eles apresentassem propostas para esse nível de ensino.

Foi possível, então, observar que apenas um grupo propôs a sequência que abordava alguma temática verde envolvendo a abordagem CTS mais aprofundada, debatendo criticamente e fazendo os estudantes refletirem sobre eventuais tomadas de decisão relacionadas aos temas. No entanto, é importante dizer que a movimentação dos demais grupos para uma tentativa de ampliação da vertente técnica deve ser considerada relevante, pois a maioria não teve contato com essas discussões em seus cursos de formação e a disciplina acabou sendo o primeiro convívio deles.

Sendo assim, a docente entende que a disciplina vem cumprindo seu objetivo principal que é fazer com que a QV chegue ao Ensino Básico, se afastando da vertente técnica e instrumental. A abordagem CTS age como a base para ajudar os cursistas a enten-

derem que a aula de Química pode contribuir para que seus alunos construam um senso de identidade como cidadãos pensantes, ativos e críticos, mesmo que em colégios que o currículo não permite tantas modificações.

De acordo com Sjöström e Talanquer (2014, p. 1130),

os educadores de Química devem aspirar a elevar seus cursos no tetraedro, abrindo espaços para o empoderamento e transformação dos alunos por meio da problematização multifacetada, buscando compreender as incertezas no conhecimento da Química, refletindo sobre os benefícios, custos e riscos dela e suas aplicações, além de engajar-se em ações crítico-democráticas para a sustentabilidade. (tradução própria)

A partir da disciplina, o propósito é uma educação **em** ou **sobre** as relações entre a Química, a tecnologia, a sociedade e o ambiente, e não aquela meramente conteudista. É esperado, então, que a cada oferta do curso de especialização, seja fomentada a discussão com professores atuantes no ensino básico de uma Química que dialogue criticamente com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Diversas são as possibilidades para que isso ocorra, a exemplo da discussão sobre agrotóxicos já desenvolvida, que engloba os problemas da fome e da agricultura mais segura (meta 2 do ODS), os alimentos, saúde e bem-estar (meta 3 do ODS), a melhoria da educação (meta 4 do ODS), além de discutir sobre segurança ambiental (meta 15 do ODS).

Referências

ACEVEDO DÍAZ, J. A., VÁZQUEZ, A., PAIXÃO, M., ACEVEDO, P., OLIVA, J., MANASSERO, M. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a Natureza da Ciência no ensino das ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v.11, n. 1, p. 1-15, 2005.

AIKENHEAD, G. S. What is STS teaching? in: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. (orgs.). **STS Education: International Perspectives on Reform**. New York, Teachers College Press, 1994.

AIKENHEAD, G. S. Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame. **Educación Química**, v.6, n.2, p. 114-124, 2005

AIKENHEAD, G. S. **Educação Científica para todos**. Mangualdade: Edições Pedagogo. 2009.

ANASTAS, P. T.; KIRCHHOFF, M. M. Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. **Acc. Chem. Res**, v.35, n.9, p. 686-694, 2002.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: Theory and Practice**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

BOUZON, J. D. **Química Verde por meio da Abordagem CTS: a construção e aplicação de uma disciplina em um curso de formação de professores**. Tese de doutorado. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2022.

BURMEISTER, M.; RAUCH, F; EILKS, I. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. **Chem. Educ. Res. Pract.**, v.13, p. 59-68, 2012.

CHRISPINO, A. A função social do ensino de Química. **Revista de Química Industrial**, n. 668, p. 17-18, 1989.

COLÉGIO PEDRO II. Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura. **Regulamento do curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Ensino de Química**. Rio de Janeiro, 2019.

CRESWELL, J.W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CUTCLIFFE, S. H. **Ideas, Máquinas y valores. Los Estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad**. Barcelona: Anthropos; México: UNAM, 2003.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GÓES, L. F. de; LEAL, S. H.; CORIO, P.; FERNANDEZ, C. Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química. **Educación Química**, v. 24, n. extraord.1, p. 113-123, 2013.

GOLDEMBERG, J., BARBOSA, L.M. A legislação ambiental no Brasil e em São Paulo. **Revista Eco 21**, Ano XIV, e. 96, 2004.

JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9, p. 701, 1993.

MANASSERO, M. A.; VÁZQUEZ, Á. Instrumentos y métodos para la evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia, la tecnología y la sociedad. **Enseñanza de las ciencias**, v. 20, n.1, p. 15-27, 2001

MARCELINO, L. V. **Os tipos de racionalidade na química verde e suas relações com o ensino**. (Tese) Doutorado em Educação Científica e Tecnológica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 212 f., 2020.

MARQUES C. A.; GONÇALVES, F. P.; ZAMPIRON, E.; COELHO, J. C.; MELLO, L. C.; OLIVEIRA, P. R. S.; LINDEMANN, R. H. Visões de Meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de Química na escola média. **Química Nova**, v. 30, n.8, p. 2043-2052, 2007.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. Environmental Sustainability: implications and limitations to Green Chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 16, n.1, p. 125-147, 2014.

MESSEDER NETO, H. S. **O lúdico no ensino de química na perspectiva historicocultural**: Além do espetáculo, além da aparência. 1. ed. Curitiba: Prismas, 2015.

OLIVEIRA, M. B. Neutralidade da ciência, desencantamento do mundo e controle da natureza. **Scientiae Studia**, v. 6, n. 1, São Paulo, 2008.

PRADO, A. G. S. Química Verde: os Desafios da Química no Novo Milênio. **Quím. Nova**, v. 26, n.5, p. 738-744, 2003.

SANDRI, M. C. M.; MARQUES, C. A. O ensino da Química Verde: possíveis abordagens. **XVIII Encontro Centro Oeste de Debates sobre o Ensino de Química - ECODEQ**. Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, 2021.

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

SILVA, E. R.; SCHRAMM, F. R. A questão ecológica: entre a ciência e a ideologia/utopia de uma época. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 13, n. 3, Rio de Janeiro, 1997.

SILVA, V. B., CRISPIM, J. Q. Um breve relato sobre a questão ambiental. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino (GEOMAE)**, v. 2, n.1, p. 163-175, 2011.

SJÖSTRÖM, J. Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. **Science & Education**, v. 22, p. 1873-1890, 2013.

SJÖSTRÖM, J.; EILKS, I.; ZUIN, V. G. Towards Eco-reflexive Science Education: A Critical Reflection About Educational Implications of Green Chemistry. **Science & Education**, v. 25, p. 321-341, 2016.

SJÖSTRÖM, J.; TALANQUER, V. Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization. **Chem. Educ.**, v. 91, p. 1125-1131, 2014.

YANARICO, A. A. Uma Tecnociência para o Bem-estar Social. **Ciência e Tecnologia Social**, v.1, n.1, p. 99-120, Brasília, 2011.

ZUIN, V. G. **A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de Química**. Campinas: Átomo, 2011.

ZUIN, V. G.; PACCA, J. L. A. A ambientalização curricular e a formação inicial de professores de química: um estudo de caso brasileiro. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p. 2330-2330, 2009.

Relato de vivências no âmbito da Química Verde no curso de Química do Instituto Federal do Paraná - *campus* Palmas

João Paulo Stadler

Sandra Inês Adams Angnes Gomes

Introdução

O curso de Licenciatura em Química localizado no *campus* Palmas do Instituto Federal do Paraná (IFPR) teve seu início em 2010 em razão da federalização da mantenedora anterior (IFPR, 2011; 2014; 2017a), herdando estudantes que deveriam integralizar suas matrizes curriculares. Em 2011, foi proposto o primeiro projeto curricular do curso (PPC) na nova instituição, ainda sem atividades voltadas a novas tendências em Química.

Aquele PPC (IFPR, 2011) contava com disciplinas do núcleo pedagógico que abordavam o papel da educação na sociedade, os conhecimentos didáticos, os processos cognitivos da aprendizagem, a compreensão dos processos de organização do trabalho pedagógico e a orientação para o exercício profissional em âmbitos escolares e não-escolares articulando saber acadêmico, pesquisa e prática educativa, mas não trazia como tema de estudo as contribuições da Química Verde na formação dos novos docentes (IFPR 2011; SANDRI, 2016).

Diante disso, no ano de 2012, iniciou-se o movimento para inserir atividades relacionadas à Química Verde no currículo do curso, motivado por uma das integrantes do Núcleo Docente Estruturante (NDE) do Colegiado, que na época iniciava seu doutorado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática na Universidade Estadual de Maringá. Sua tese versava sobre contribuições

do enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) e da Química Verde na formação de licenciandos em Química (SANDRI, 2016).

Então, para que conceitos e práticas relacionadas à Química Verde pudessem ser articuladas ao currículo, a docente solicitou a alteração das ementas das disciplinas *Metodologia do Ensino de Química* e *Instrumentação para o Ensino de Química I e II*, sugerindo a inserção da abordagem CTSA e dos princípios da Química Verde. Segundo a docente, essas alterações contribuiriam com as premissas do IFPR (IFPR, 2009; SANDRI, 2016), cuja missão se constitui em

promover e valorizar a educação profissional e tecnológica, com base na indissociabilidade do ensino, pesquisa e extensão, contribuindo para a formação do cidadão e da sustentabilidade da sociedade paranaense e brasileira, com amparo nos princípios da ética e da responsabilidade social (IFPR, 2009, p. 19).

A justificativa de Sandri (2016) também se apoiou na visão institucional do IFPR, que tem como atribuições “ser modelo de instituição de educação profissional e tecnológica caracterizada pelo compromisso social, ambiental e com a sustentabilidade, capaz de atuar com inovação e de forma transformadora” (PDI, 2009, p. 19).

Em maio de 2013, com as alterações do PPC em função de exigências das Diretrizes Curriculares Nacionais para Formação de Professores da Educação Básica (BRASIL, 2002), uma nova proposta de curso foi apresentada, dando início a uma nova grade curricular em 2014.

Os componentes curriculares de *Instrumentação para o Ensino de Química I e II*, da matriz curricular anterior, deixaram de ser ofertadas, sugerindo-se a manutenção da disciplina de *Metodologia do Ensino da Química*, com abordagens voltadas para o enfoque CTSA, com aumento de carga horária de 40 para 80 aulas semestrais.

Além disso, também foi proposto o componente curricular de *Química Ambiental*, com carga horária de 40 aulas semestrais, constituída de temas amplamente voltados para a Química Ambiental,

Sustentabilidade e Química Verde. A seguir, apresenta-se uma breve descrição das disciplinas (IFPR, 2014):

- **PCC III – METODOLOGIA DO ENSINO DA QUÍMICA**
- com carga horária de 80 horas aulas, ofertada no quarto período do curso. A ementa do componente curricular trazia como temas: estudo das relações ensino/aprendizagem; transposição didática; elaboração de plano de aula, sequência didática e unidade didática; recursos tecnológicos associados ao ensino da Química; abordagens metodológicas: contextualização e interdisciplinaridade; CTSA; ensino pela pesquisa e experimentação no ensino de Química.
- **PCC IV - Educação ambiental** – consistia em 40 horas aulas no oitavo período do curso. A ementa da disciplina contemplava temas voltados para a educação ambiental naturalista, crítica e princípios da sustentabilidade; princípios da Química Verde; Química e a sociedade; exploração de temas socioambientais na Educação Básica; desenvolvimento de projetos que congregam a preocupação ambiental.

Em 2016, fez-se necessária nova reformulação do PPC (IFPR, 2017), que entrou em vigor no ano de 2017. Essa reformulação ocorreu com base no artigo 12 das Diretrizes Nacionais para a Formação Inicial em Nível Superior nos cursos de Licenciatura – Resolução CNE/CP nº 02/2015 (BRASIL, 2015) e o Anexo II da Resolução CONSUP/IFPR nº 19/2017 (IFPR, 2017) que determina, no Art. 26, que a organização curricular dos cursos deverá se constituir por núcleos. Tal proposta indica um modo diferente de organização das unidades curriculares, sugerindo focos agregadores desses componentes de maneira articulada dentro no núcleo e entre eles.

Essa concepção de currículo tem a relação teoria-prática como fundamento da ação docente, ao propor os núcleos de *Formação Geral*, *Aprofundamento* e *Integração*. O núcleo de *Formação Geral*, deve ser constituído por: estudos de formação geral, das áreas específi-

cas e interdisciplinares; e do campo educacional, seus fundamentos e metodologias e as diversas realidades educacionais.

O núcleo de *Aprofundamento*, por sua vez, inclui conteúdos específicos e pedagógicos priorizados pelo projeto pedagógico das instituições, em sintonia com os sistemas de ensino. E o núcleo de *Integração* representa a inovação da formação de professores, e concentra debates com enfoque no exercício da docência na área do curso, dos quais devem participar tanto os professores de componentes pedagógicos quanto de específicos. Os três núcleos, em uma proposta interdisciplinar, coexistem e se retroalimentam, perpassando todo o processo formativo do curso (IFPR, 2017a; 2017b).

Neste contexto, mais uma vez o curso foi reformulado e questões voltadas à Química Verde, meio ambiente, sustentabilidade e abordagens CTSA foram alocadas para a disciplina de *Química Geral I*, que faz parte do núcleo de *Formação Geral* da matriz curricular e as *Práticas como Componentes Curriculares III e VI*, que são integrantes do núcleo de aprofundamento e integração do curso:

- **Química Geral Experimental I** - com 40 aulas no primeiro período do curso e a ementa com temas direcionados para normas de segurança no laboratório de Química, baseada em: **Gerenciamento de resíduos. Introdução à Química Verde.** Reconhecimento e manuseio das vidrarias e equipamentos laboratoriais; técnicas laboratoriais: pesagem, formas de aquecimento, separação de misturas; determinação de propriedades físicas: densidade, ponto de fusão, ebulição e solubilidade, reações químicas e cálculo estequiométrico.
- **PCC III - Educação Ambiental** - 40 aulas no quinto período. A ementa consiste em: Educação ambiental naturalista e crítica; sustentabilidade; a Química e suas relações com a sociedade, o ambiente e as políticas de educação ambiental; **A Química Verde: histórico, princípios, pressupostos éticos, reflexos sociais e educacionais;** a formação do educador ambiental; **a educação ambiental no ensino de Química: interfaces com o enfoque CTSA e a QV.**

- **PCC VI - Metodologia do Ensino de Química** - 80 horas, no sétimo período do curso, com a ementa: Alfabetização científica; contextualização e interdisciplinaridade; modelização no ensino de Química; **Enfoque CTSA; experimentação e as diferentes abordagens experimentais; Química Verde no ensino de Química; TIC no ensino de Química.**

É importante salientar que a inclusão de tópicos relacionados à Química Verde e ao gerenciamento de resíduos já no primeiro período do curso reforçou a intenção de que novas reflexões e práticas, sobretudo no campo experimental, fossem discutidas nos âmbitos além das disciplinas voltadas ao ensino, como forma de fomentar a mudança de pensamento em relação às inovações em Química.

Além disso, é importante mencionar que a abordagem e a metodologia utilizada em cada componente curricular estão sob responsabilidade e escolha do docente que a ministra. Contudo, quando essas disciplinas foram lecionadas pelos professores participantes do grupo de pesquisa voltado à Química Verde, descrito a seguir, tais questões foram amplamente incorporadas às atividades desenvolvidas, potencializando as contribuições dessa temática para o ensino.

Em relação às atividades de pesquisa, no ano de 2017 foi criado o Grupo de Estudos e Pesquisa em Educação Química Verde, atualmente vinculado à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), mas ainda conta com membros que atuam e/ou estudaram no IFPR.

Ainda naquele ano, foi proposto o projeto de pesquisa, ensino e aprendizagem intitulado: Avaliação da verdura química dos experimentos de Química Orgânica, registrado no Comitê de Pesquisa e Extensão do IFPR e ainda em desenvolvimento. As atividades nele desenvolvidas contribuem com o objetivo geral de aprofundar os estudos acerca das métricas verdes e a partir destas avaliar a verdura química dos experimentos de Química Orgânica desenvolvidos nos laboratórios didáticos do IFPR – *campus* Palmas, com

vistas a propor melhorias e adaptações que atendam aos princípios da Química Verde.

Inicialmente, as atividades específicas do projeto compreendiam:

- implantar um grupo de estudos sobre Química Verde, métricas verdes e suas articulações com o ensino de Química;
- selecionar na literatura experimentos clássicos de Química Orgânica que fossem comumente realizados nos laboratórios da instituição (IFPR –Palmas);
- analisar a verdura química de todos os experimentos selecionados empregando a métrica Matriz Verde;
- analisar a verdura química dos experimentos de síntese empregando a métrica Estrela Verde;
- identificar nas Matrizes e nas Estrelas Verdes os pontos de baixa verdura química;
- aplicar métricas de massa e energéticas da Química Verde.

Estes objetivos iniciais são renovados a cada seis meses, com inserção de novas metas a partir dos resultados de pesquisa alcançados. Por fim, em relação à extensão universitária, os participantes desse projeto têm contribuído com o desenvolvimento de formulações mais verdes no contexto do projeto de extensão “Fábrica Escola de Detergentes”. Nesse sentido, percebe-se que a Química Verde tem sido articulada por meio do tripé ensino-pesquisa-extensão a partir do trabalho de alguns professores do curso de Licenciatura em Química.

Desse movimento, é possível notar que as mudanças propostas nas ementas do currículo do curso, o desenvolvimento do projeto de pesquisa e a contribuição a ações de extensão possibilitaram espaços para que os acadêmicos tenham a oportunidade de conhecer e aplicar a Química Verde em seus estudos.

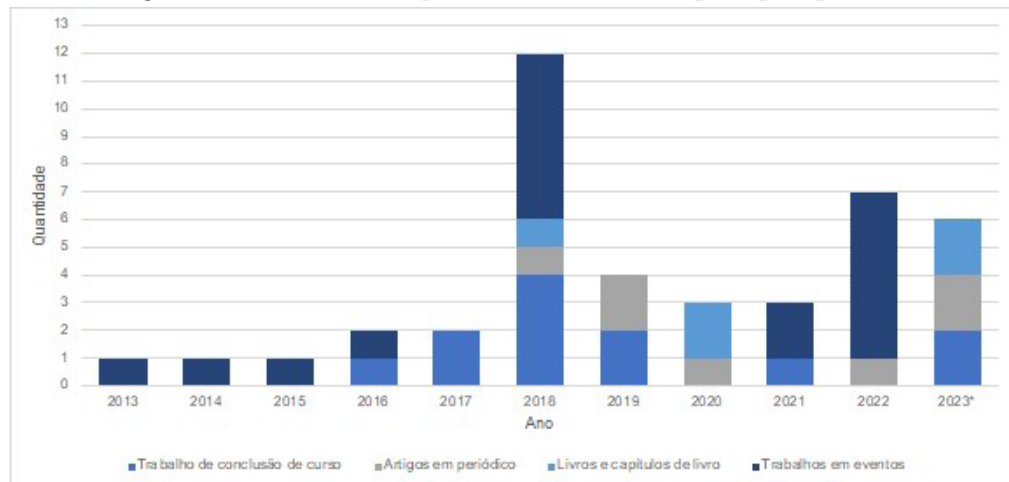
Além disso, os discentes tiveram a oportunidade de participar de palestras sobre o tema, grupos de estudos, semanas acadêmicas e outros eventos externos. Isso despertou o interesse de muitos

estudantes pela pesquisa no tema, o que resultou em trabalhos de conclusão de curso, publicação de artigos científicos, livros, capítulos de livros e participação em eventos científicos. Diante disso, o objetivo desse relato de experiência é apresentar, de maneira sistematizada, a evolução da pesquisa desenvolvida no âmbito do projeto “Avaliação da verdura química dos experimentos de Química Orgânica”.

Caracterização das produções científicas no âmbito do projeto

Para iniciar a apresentação dos trabalhos acadêmicos publicados a partir das atividades de pesquisa desenvolvidas no projeto, apresenta-se na Figura 1, o quantitativo das 42 produções, por tipo e por ano.

Figura 1: Quantitativo de produções acadêmicas por tipo e por ano



* Previsão

Fonte: Autoria própria (2023)

Percebe-se (Fig.1) que o projeto tem contribuído de forma relevante no campo de conhecimento da Química Verde por meio da difusão dos resultados das pesquisas acadêmicas, em forma de publicações de sete artigos científicos, um livro em 2018, dois capítu-

los de livro em 2020 e dois livros em apreciação para publicação em 2023 pela editora IFPR. Foram ainda publicados dezoito trabalhos em eventos de diferentes abrangências, de local a internacional.

A partir do levantamento dos trabalhos, (Fig. 1) foi possível perceber que de 2013 a 2018 houve aumento expressivo no número de produções, bem como na sua diversificação. A partir de 2018, contudo, houve queda de produtividade devido em grande parte à saída de uma professora do grupo e, posteriormente, às dificuldades impostas pela pandemia do Covid-19. Todavia, o projeto continuou sendo desenvolvido e mais trabalhos foram publicados. Ainda, em 2018, um novo professor passou a participar do grupo, mesmo sem formação específica na área de Química Verde. A seguir, serão detalhas as produções desenvolvidas no projeto de pesquisa por categoria, como forma de salientar os focos de pesquisa em cada caso.

Trabalhos de conclusão de curso

As leituras, pesquisas e discussões realizadas no grupo de pesquisa motivaram o desenvolvimento de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) dos estudantes participantes com foco principal da análise prévia e experimental da veridura dos processos químicos presentes nas aulas do curso, em especial, as de Química Orgânica (Quadro 1).

Quadro 1: Título e ano de desenvolvimento dos trabalhos de conclusão de curso

Títulos	Ano
Síntese do ácido acetilsalicílico (AAS) através de irradiação micro-ondas: busca pela eficiência energética visando os princípios da Química Verde	2016
Otimização da síntese do ácido acetilsalicílico (AAS) para fins didáticos e correlações com os princípios da química verde	2017
Análise de experimentos de Química Orgânica Experimental sob uma perspectiva de Química Verde	2017
O resgate da Química Descritiva por meio de determinações qualitativas de metais potencialmente tóxicos com enfoque da Química Verde	2018
Salicilado de metila: uma proposta de síntese através das métricas da Química Verde	2018

Avaliação da verdura química de diferentes técnicas de extração de cafeína	2018
Otimização da técnica de extração do princípio ativo do paracetamol por meio de métricas verdes	2018
Química Geral Experimental para o Ensino Médio na perspectiva da Química Verde	2019
Experimentos de Química Orgânica para o Ensino Médio sob perspectiva da Química Verde	2019
Experimentos de Físico-química para o Ensino Médio sob perspectiva da Química Verde	2019
Produção de sabão ecológico: uma alternativa para explorar os princípios da Química Verde	2021
Avaliação da verdura química do sistema de tratamento de efluentes de abatedouros de aves	2023*
Avaliação da verdura química de diferentes procedimentos experimentais para obtenção de biodiesel	2023*

* Previsão

Fonte: Autoria própria (2023)

Durante o desenvolvimento das pesquisas inerentes aos TCC, vários acadêmicos participaram de eventos, com publicação parcial de seus trabalhos. Ainda, alguns dos egressos continuaram suas pesquisas de forma voluntária, mantendo vínculo com os professores do projeto, o que resultou na publicação dos resultados em artigos científicos. Sendo assim, percebe-se o movimento que articula a formação dos licenciandos em paralelo com a possibilidade de continuidade dos trabalhos na área de pesquisa, no campo de atuação, nas escolas em que atuam como professores, inclusive com a entrada de muitos egressos em cursos de mestrado e, mais recentemente, doutorado.

Trabalhos apresentados em eventos

A participação em eventos científicos é relevante para a formação em nível superior e permite o desenvolvimento de habilidades complementares como: a capacidade de síntese; a escrita científica; e apresentação para o público. Além disso, é de fundamental importância o contato com estudantes e pesquisadores de outras instituições, para a socialização das atividades e a trocas de sabe-

res, o que afeta diretamente a difusão dos conhecimentos científicos realizados no interior das instituições de ensino e de pesquisa.

Também, é importante destacar que a participação em diferentes eventos, possibilita a atualização, o contato com o novo, percepções sociais diferentes, bem como motiva, principalmente os estudantes, para estudos avançados e ao desenvolvimento da pesquisa. Esses objetivos estão presentes na concepção do curso e, por isso, os acadêmicos são estimulados a participarem dessas atividades. No Quadro 2, constam os títulos dos trabalhos apresentados em eventos por estudantes participantes do projeto.

Quadro 2: Dados dos trabalhos apresentados em eventos científicos

Título	Evento	Abrangência	Ano
Revitalização das aulas experimentais de Química com vistas a inserção dos princípios da Química verde	Congresso Paranaense de Educação Química	Regional	2013
Experimentos de Química Geral e Química Orgânica na perspectiva da Química Verde e sob a Abordagem Integradora	Contextos e Conceitos do IFPR	Local	2014
Determinação da acidez e do grau de saponificação de óleo residual: uma análise sob a perspectiva da Química Verde	Reunião da Sociedade Brasileira de Química da Região Sul	Regional	2015
Química e meio ambiente: reciclagem do óleo residual para produção de sabão	Contextos e Conceitos do IFPR	Local	2016
Difusão da Química Verde nos artigos da revista Química Nova no período de 2010 a 2017	Simpósio Brasileiro de Educação Química	Nacional	2018
Projeto de estudo e pesquisa Química Verde: avaliação da verdura experimental do teste de solubilidade de compostos orgânicos	Contextos e Conceitos do IFPR	Local	2018
Avaliação do método de extração da cafeína do chá preto sob perspectiva da Química Verde	Contextos e Conceitos do IFPR	Local	2018
Emprego de métricas verdes para avaliação e otimização da síntese do salicilato de metila	Contextos e Conceitos do IFPR	Local	2018

Quadro 2: Dados dos trabalhos apresentados em eventos científicos (cont.)

Título	Evento	Abrangência	Ano
Estrela verde: análise semiquantitativa para avaliar a verdura química do de extração da cafeína do chá preto	Simpósio Brasileiro de Educação Química	Nacional	2018
Obtenção do salicilato de metila: propostas mais verdes aplicáveis ao ensino de Química	Simpósio Brasileiro de Educação Química	Nacional	2018
Produção de sabão ecológico: uma alternativa experimental para explorar os princípios da Química Verde	Encontro Nacional de Química e Sustentabilidade	Nacional	2021
Produção de sabão ecológico sob o olhar da Química Verde sustentável	Congresso On-line Internacional de Sustentabilidade: teoria à prática	Internacional	2021
A Matriz Verde e métricas energéticas: proposta para inserir a Química Verde em cursos de Farmácia	Congresso Latino-americano de Química Verde	Internacional	2022
Avaliação da síntese do biodiesel por meio das métricas de massa da Química Verde	Congresso Latino-americano de Química Verde	Internacional	2022
Avaliação da verdura química de um procedimento experimental de obtenção de biodiesel	Contextos e Conceitos do IFPR	Local	2022
Avaliação da verdura química do sistema de tratamento de efluentes de abatedouros de aves	Contextos e Conceitos do IFPR	Local	2022
Estrela verde do processo de obtenção de biodiesel a partir de óleo residual de frituras	Reunião da Sociedade Brasileira de Química da Região Sul	Regional	2022
Produção de sabões verdes com óleo residual de frituras e cinzas de lenha	Reunião da Sociedade Brasileira de Química da Região Sul	Regional	2022

Fonte: Autoria própria (2023)

A partir do Quadro 2, é possível observar que o projeto desenvolvido possibilitou a participação dos estudantes em diferentes congressos e simpósios, estimulando a troca de conhecimento e o estabelecimento de relações com outros estudantes e professores da área. Além disso, já fica evidenciada a multiplicidade de temáticas que podem ser discutidas por meio do estudo da Química Verde.

Artigos publicados em periódicos

Depois do desenvolvimento do TCC, os acadêmicos eram convidados a escrever artigos destinados periódicos da área de Química e de Ensino, a depender do enfoque principal da pesquisa desenvolvida (Quadro 3).

Quadro 3: Dados dos artigos publicados ou em avaliação em periódicos

Título	Revista (Qualis – 2017/2020)	Ano
Análise de experimentos de Química Orgânica sob uma perspectiva de Química Verde	Debates em Ensino de Química (A3)	2018
Avaliação e otimização das condições de obtenção do ácido acetilsalicílico para fins didáticos	Educación Química (B4)	2019
Determinação do grau de saponificação de óleo residual: uma experiência no ensino de Química sob as perspectivas CTSA e Química Verde	Educación Química (B4)	2019
Extração do paracetamol comprimidos: uma técnica verde para o ensino de Química Farmacêutica	Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (A2)	2020
Produção de sabão líquido verde: uma iniciativa para articular os princípios da Química Verde no ensino de ciências da natureza.	Research, Society and Development (C)	2022
Comparações entre as análises pela Matriz Verde e a Estrela Verde de técnicas de extração e purificação da cafeína	*	2023*
Protocolos para a produção de sabão ecológico seguindo os princípios da Química Verde	*	2023*

* Em avaliação

Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se por meio do Quadro 3 que os egressos que se dispuseram a elaborar artigos científicos a partir das pesquisas desenvolvidas conseguiram publicar seus trabalhos em revistas de diferentes estrados, inclusive em Qualis A, indicando a qualidade dos trabalhos produzidos pelo grupo.

Nesse sentido, inferimos que os estudantes puderam perceber as nuances do processo de difusão científica, como a adequação às revistas, o processo de avaliação e submissão. Dessa forma, o proje-

to tem o potencial de contribuir para a formação de pesquisadores em Química, nesses campos específicos.

Livros e capítulos de livro

Em 2018, o grupo publicou o livro: **Química Orgânica Experimental – Aplicação de métricas holísticas de verdura: Estrela Verde e Matriz Verde** com a participação de uma estudante do curso de Farmácia. O livro contempla experimentos comumente desenvolvidos nos laboratórios didáticos do IFPR *campus* Palmas com base nos princípios da Química Verde. São técnicas que compreendem atividades introdutórias do estudante em ambiente laboratorial e em relação aos conceitos básicos da Química Orgânica, que tratam de temas relacionados a propriedades físicas, purificação, separação e extração de compostos orgânicos. Ao final de cada técnica experimental, a obra traz as análises empreendidas a partir das métricas holísticas: Matriz Verde e Estrela Verde, contemplando as possibilidades de melhorias e as ameaças encontradas.

A partir das inadequações observadas com base nesses princípios, foram propostas melhorias para os protocolos empregados nas aulas de forma que as atividades experimentais fossem menos impactantes do ponto de vista de segurança química e atenção ao meio ambiente, atendendo aos pressupostos da sustentabilidade socioambiental.

No ano de 2020, foram publicados dois capítulos de livros sobre as atividades realizadas no projeto que versam sobre uma proposta de aplicação da Matriz Verde em experimentos de Química Orgânica e Oficinas para produção de sabões artesanais como estratégia de Educação Ambiental baseada nos princípios da Química Verde. Esses capítulos fazem parte da obra intitulada **O que podem as licenciaturas em tempos de crise? (Im)possíveis respostas do Instituto Federal do Paraná, *campus* Palmas**, produção coletiva de professores e estudantes dos cursos de licenciatura do *campus* para publicizar as ações em desenvolvimento.

Por fim, é importante destacar que as atividades que contribuíram para a composição das obras em elaboração para publicação em 2023 iniciaram-se em 2011 por estudantes e professores, durante um projeto de laboratório que previa a elaboração de material didático com protocolos experimentais para os três anos da Educação Básica.

Em 2012, estudantes deram início à testagem dos experimentos selecionados no ano anterior e que contemplavam as áreas de Química Geral, Inorgânica, Físico-Química e Química Orgânica. Posteriormente, em 2017, avaliou-se a veracidade química desses experimentos, utilizando a métrica Matriz Verde proposta por Machado (2014), com posteriores adequações a Sandri, Gomes e Bolzan (2018). As práticas propostas neste material são mais verdes e facilmente realizáveis em laboratórios ou de forma adaptada em sala de aula.

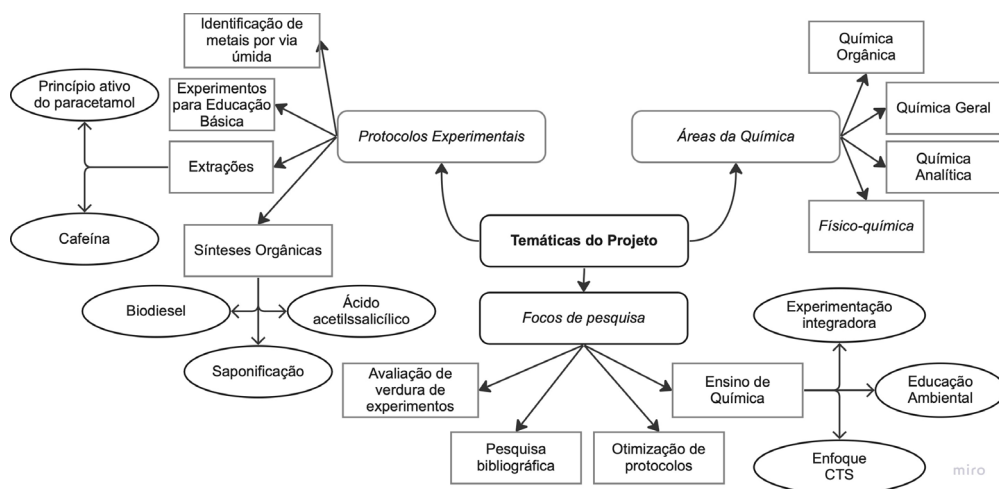
Acredita-se que as atividades propostas tem o potencial de auxiliar acadêmicos e profissionais – principalmente professores de Química e áreas afins em suas aulas, bem como aqueles interessados em conhecer um pouco mais da QV e suas aplicabilidades, principalmente no que condiz à avaliação e reflexão sobre e repensar condições experimentais que possam ter sua veracidade melhorada. Assim, de forma contínua, o Grupo de Estudos e Pesquisa da Química Verde do IFPR busca abordar o processo de investigação, a criticidade e a ética profissional na construção de um mundo mais sustentável.

Diante da descrição detalhada das produções desenvolvidas e em elaboração no âmbito do projeto, apresentada acima, espera-se que seja possível perceber o esforço dos participantes em abordar várias temáticas e empregar diferentes metodologias de avaliação de Química Verde, como forma de explorar novas frentes e consolidar os conhecimentos acerca desse campo.

Temáticas e metodologias abordadas nos trabalhos desensolvidos

Como forma de destacar as temáticas que foram abordadas na pesquisa, apresenta-se na Figura 2 um mapa mental que sistematiza os principais focos de pesquisa desenvolvidos, os tipos de experimentos investigados e a área da Química correspondente ao conteúdo das produções desenvolvidas.

Figura 2: Temáticas desenvolvidas no projeto



Fonte: Autoria própria (2023)

Por meio do esquema que sistematiza as temáticas estudadas nas atividades do projeto (Fig. 2), percebe-se, primeiramente, que seu escopo ultrapassou os conceitos e experimentos que são classicamente compreendidos como do âmbito da Química Orgânica. Até o momento, foram exploradas relações com a Química Analítica, com foco no Ensino Superior, e da Química Geral e Físico-química voltadas à Educação Básica.

Em relação aos focos de pesquisa que guiaram as produções apresentadas destaca-se, por um lado, a avaliação da verdura de experimentos combinados a propostas de otimização de protocolo-

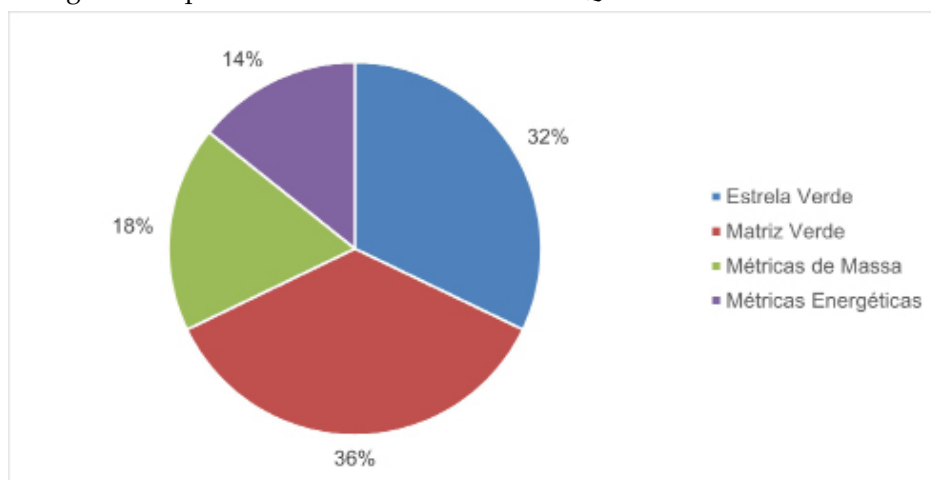
los clássicos desenvolvidos em contexto didático. Por outro lado, foram desenvolvidos estudos voltados ao Ensino de Química com foco à articulação dos princípios da Química Verde nos dois níveis de ensino supracitados.

Nesses casos, explorou-se o enfoque CTS e a experimentação integradora como formas de organização do ensino das diversas áreas da Química e, em especial, na Educação Ambiental. Além disso, foram desenvolvidas pesquisas bibliográficas para melhor compreender as características do campo de investigação e dos trabalhos divulgados por outros grupos.

Os protocolos experimentais abordados envolvem práticas relacionadas à Química Orgânica: sínteses e extrações de diferentes substâncias. Houve também a investigação de protocolos de identificação de cátions por via úmida, voltado à Química Analítica e roteiros presentes em materiais didáticos para a Educação Básica nas diversas áreas.

Os estudos realizados nas diferentes temáticas envolveram também diferentes métricas da Química Verde, tanto holísticas, quanto de massa e energéticas. No gráfico contido na Figura 3 é ilustrada a frequência de cada métrica nos estudos.

Figura 3: Representatividade das métricas da Química Verde nos estudos



Fonte: Autoria própria (2023)

A análise da Figura 3 permite perceber que as pesquisas empregaram mais as métricas holísticas: Matriz Verde e Estrela Verde, enquanto as métricas de massa e energéticas têm frequências menores em relações às anteriores. Essa ocorrência se justifica pela complexidade das técnicas experimentais necessárias para a correta medição das propriedades utilizadas nessas últimas, frente à característica visual da Estrela Verde e a possibilidade de análise da Matriz Verde antes do experimento (MACHADO, 2014; RIBEIRO; MACHADO, 2012), conforme explicitado a seguir.

Métricas holísticas

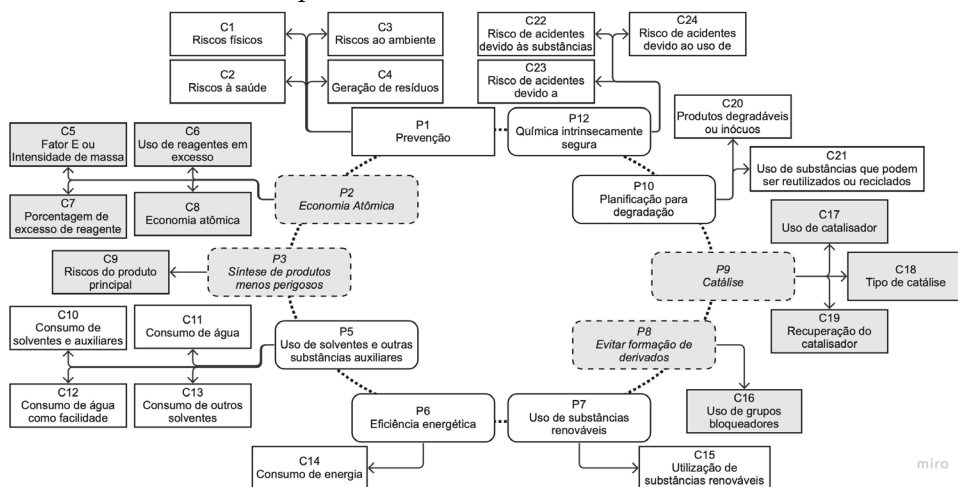
Conforme explicam Ribeiro e Machado (2012), as métricas matrizes verdes baseiam-se na análise SWOT – onde: **S** (*strenghts*, em inglês) indica os pontos fortes do experimento; **W** (*weaknesses*), os pontos fracos do experimento; **O** (*opportunities*) consiste em oportunidades propostas a partir dos pontos fracos identificados; e **T** (*threats*) explicita os pontos fracos que não podem ser contornados.

A Matriz Verde emprega como critérios os princípios da Química Verde de acordo com o tipo de experimento envolvido. A título de exemplo, para os procedimentos que envolvem sínteses são considerados os dez princípios sumarizados na Figura 4, enquanto os experimentos sem síntese são avaliados por meio de seis princípios, pois não se consideram aqueles relacionados à formação de novos produtos. Ainda, no âmbito do ensino, as questões estruturais podem inviabilizar determinadas análises, como o desenho de produtos seguros, que envolvem complexos processos de síntese e/ou reagentes de alto custo, e a análise em tempo real, que demanda equipamentos sofisticados.

Contudo, cabe ressaltar que, conforme os estudos foram avançando, o grupo de estudos e pesquisa do IFPR, campus Palmas, passou a adotar uma Matriz Verde que apresentava critérios mais específicos para a análise de cada princípio (Figura 4), considerando os dez princípios para experimentos com síntese de acordo com Sandri, Gomes e Bolzan (2018). Na imagem da figura 4, os prin-

cípios exclusivos para experimentos com síntese estão em cinza e com a margem pontilhada.

Figura 4: Princípios e critérios para a análise interna da Matriz Verde para experimentos no contexto do ensino



Fonte: Adaptado de Sandri, Gomes e Bolzan (2018)

Nessas análises, após definidos os critérios (Fig. 4), identificam-se os **pontos fortes** e **pontos fracos**, que podem ser consultados em Sandri, Gomes e Bolzan (2018), a partir das características do protocolo experimental, o que corresponde à **análise interna**. Na sequência, é efetuada a **análise externa**, que permite identificar as **oportunidades** que possibilitam aumentar a verdura química a partir da adequação dos pontos fracos e as **ameaças**, que consistem em elementos que não podem ser contornados e que impedem alcançar maior verdura.

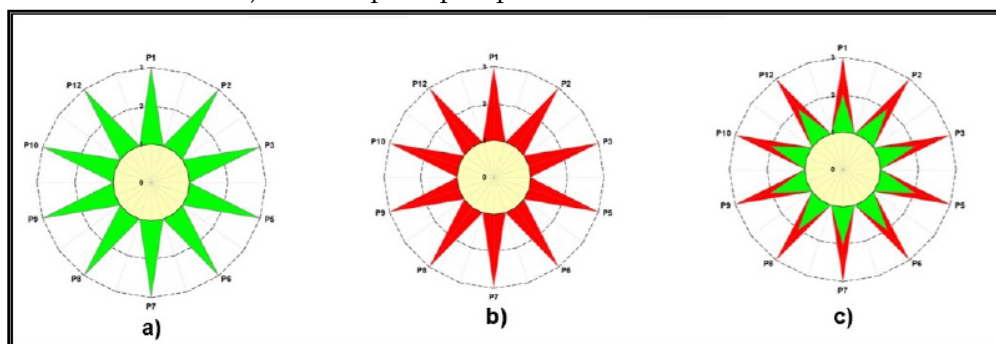
A principal vantagem da Matriz Verde é permitir identificar os princípios cumpridos mesmo sem a realização do experimento, além de possibilitar identificar as oportunidades de melhoria e as ameaças, ou seja, os pontos de dificuldade à melhoria da verdura. Por isso, no contexto do ensino de Química, nos diversos níveis, permitem discussões amplas sobre os processos químicos e as propriedades das substâncias envolvidas.

Em relação à Estrela Verde, Ribeiro e Machado (2010) indicam uma métrica de natureza gráfica, que permite comparações visuais

fáceis, o que consiste como sua principal vantagem frente às demais. A Estrela Verde do processo químico contém uma ponta para cada um dos princípios em análise e discutidos na Matriz Verde.

Nessa métrica, cada princípio pode ser: atendido totalmente – indicado quando a ponta da estrela que indica o princípio é representada totalmente verde; não atendido – ponta representada totalmente vermelha; ou atendido parcialmente – representado por uma ponta de ambas as cores (Fig. 5).

Figura 5: Exemplos de Estrela Verde com a) todos os princípios completamente atendidos, b) todos os princípios não atendidos e c) todos os princípios parcialmente atendidos



Fonte: Autoria Própria (2023)

Com base na estrela apresentada Figura 1a, observa-se que para o máximo de verdura, a pontuação será 3 para todos os princípios e será obtida uma estrela de área de verdura máxima, indicando que o processo apresenta 100% de verdura química. Ao contrário, na Figura 1b está representada uma estrela com 0% de verdura química, na qual nenhum dos princípios foi atendido, nem mesmo parcialmente. Por fim, na figura 1c exibiu-se um caso hipotético, no qual o processo apresentou 50% de verdura química porque todos os princípios foram atendidos parcialmente.

A construção da Estrela Verde de cada experimento pode ser realizada de forma automática na plataforma virtual gratuita EDUCA (RIBEIRO; MACHADO, 2008) ou em planilhas do Excel®. Ambas as possibilidades estão acessíveis no site <http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>. Assim sendo, a partir da Estrela Verde, é possível observar facilmente o cumprimento de cada princípio

e o grau de verdura química do experimento, com um índice de preenchimento de 0 a 100%.

Métricas de massa

Nessa categoria, encontram-se os conceitos de **Economia Atômica** e **Fator E**, enfatizando a necessidade de se trabalhar com processos químicos mais eficientes, seguindo os fundamentos da Química Verde (ORTIZ, 2007). Neste sentido, considerando que um dos objetivos do projeto visa avaliar a verdura química de diferentes protocolos experimentais, apresentam-se resumidamente as métricas de massa empregadas nos estudos:

A **Economia Atômica** ou **Eficiência Atômica** (EA) é calculada pela razão entre a massa de átomos de reagentes incorporados no produto desejado e a massa total de átomos nos reagentes, expressa em porcentagem (Equação 1). Nesse cálculo, divide-se a massa molecular do produto desejado pela soma da massa molecular de todas as substâncias produzidas, considerando as equações estequiométricas envolvidas no processo (MACHADO, 2014).

$$EA = \frac{\text{massa molecular do produto principal (g. mol}^{-1}\text{)}}{\text{soma da massa molecular de todos os produtos (g. mol}^{-1}\text{)}} \quad (\text{Equação 1})$$

De acordo com a Equação 1, quanto mais próximo de 100% for a eficiência atômica, mais verde será o processo (CHAVES, 2015). Sendo assim, as reações que apresentam alta eficiência atômica, são chamadas de reações verdes, já as reações que oferecem baixa eficiência atômica, são consideradas reações marrons (ORTIZ, 2007).

Esse cálculo de eficiência, ou de rendimento, não considera todo o material, pois desconsidera os reagentes auxiliares e catalisadores não incorporados no produto final (LENARDÃO *et al.*, 2003), já que se baseia nas proporções estequiométricas. Logo, segundo Lenardão *et al.* (2003) os rendimentos são considerados: ex-

celentes, se maior que 90%; razoáveis, se entre 20% e 90%; e baixo quando menor que 20%.

Outra métrica de massa utilizada no projeto é o **Fator E** que, segundo Ramos (2009), consiste em um conceito que também pode descrever a eficiência de uma reação de maneira análoga à eficiência atômica. Esse fator considera a quantidade de resíduo gerado para cada quilograma de produto obtido, calculado pela razão da soma das massas dos produtos secundários pela massa do produto desejado (Equação 2).

$$\text{Fator E} = \frac{\text{massa de resíduo (kg)}}{\text{massa do produto desejado (kg)}} \quad (\text{Equação 2})$$

Para o cálculo da Equação 2, considera-se como resíduo todas as substâncias produzidas além do produto desejado, os solventes (exceto água) e a parcela de reagentes não incorporados aos produtos. Sendo assim, quanto maior o valor do Fator E, maior a massa de resíduo gerada e menos aceitável o processo do ponto de vista ambiental (RAMOS, 2009), pois acaba gerando maior quantidade de resíduos. O valor ideal do Fator E é zero, pois, desse modo, a massa de resíduos desperdiçados no processo é igual a zero, obedecendo assim o primeiro princípio da Química Verde (SHELDON, 2017).

Portanto, por meio das métricas de massa é possível levantar discussões acerca do impacto dos processos químicos e, por consequência do papel do químico para a condução de um processo que vise a implementação de práticas ambientalmente responsáveis, além de economicamente interessantes.

Métricas de energéticas

O terceiro tipo de métricas empregadas são as métricas de energia, geralmente empregadas em processos industriais, mas podem ser coerentemente discutidas no âmbito do ensino. No Quadro

4, são apresentadas as fórmulas para se calcular esses indicadores de acordo com Pires, Ribeiro e Machado (2018).

Quadro 4: Fórmulas para o cálculo das métricas energéticas

Métricas energéticas	Fórmulas (unidades de medida)
Consumo de energia de um aparelho	Varição de energia (J) = Potência (W). tempo total(s)
Intensidade de Energia (EI)	$EI = \frac{\text{energia rotal (kWh)}}{\text{massa do produto principal (kg)}}$
Intensidade de Tempo (TI)	$TI = \frac{\text{tempo total (s, min, h)}}{\text{massa do produto principal (kg)}}$
Throughput (Th)	$Th = \frac{\text{massa total do produto principal (kg)}}{\text{tempo total da reação (s, min, h)}}$

Fonte: Pires, Ribeiro e Machado (2018)

Para permitir o cálculo das métricas energéticas (Quadro 4) é necessário obter dados sobre a medição da energia e tempo ao longo dos procedimentos experimentais. Para se calcular, por exemplo, o consumo de energia de um aparelho de 220 V (450 W), deve-se empregar a fórmula para determinar o consumo de energia de um aparelho, proposta por Gaspar (2017).

Dessa forma, obtêm-se os resultados da variação de energia em joules (J), a potência em Watts (W) e a variação do tempo em segundos (s). Os resultados em joules devem ser convertidos para quilojoules (kJ). Assim, converte-se a potência W para quilowatts (kW) e o tempo em segundos para horas (h). Então, os resultados serão expressos em kWh (BOLZAN; GOMES; SANDRI, 2020).

Um processo apresentará maior verdura química quanto menores forem a intensidade de energia e intensidade de tempo, uma vez que será menor o gasto de recursos durante a execução do processo laboratorial. É importante notar que a métrica *Throughput* é o inverso da *intensidade de tempo*, de modo que quanto maior seu valor, mais produto é obtido com menor tempo despendido, indicando melhor eficiência. Industrialmente, esse valor representa

a velocidade do processo, que quanto menor, mais baixo custo de produção.

As métricas energéticas trazem questões centrais, como a utilização de energia e a importância que a duração dos processos tem do ponto de vista da economia energética aplicadas aos protocolos experimentais. Essas discussões também contribuem para estimular o pensamento sobre o gasto energético dos protocolos experimentais realizados, tópico frequentemente esquecido nas ações de ensino.

Com base na abordagem das principais temáticas estudadas pelo grupo e das métricas para análise de verdura química nele discutidas, evidenciam-se as amplas possibilidades de frentes de pesquisa que a Química Verde abrange, indicando potencialidades de aprofundamento de estudos e campos ainda a serem considerados no âmbito do projeto.

A importância do projeto no curso de Licenciatura em Química do IFPR *campus* Palmas

Ao total, 20 estudantes participaram como colaboradores deste projeto, entre os anos de 2012 e 2023. Os discentes tiveram a oportunidade de aprofundar seus conhecimentos sobre a Química Verde, suas métricas e possibilidades de inserção no ensino de Química. Abordou-se a análise dos protocolos e a proposição de melhorias por meio de longos processos de avaliação de verdura química, utilizando as métricas holísticas, de massa e energéticas da Química Verde. Muitas dessas etapas basearam-se em análises teóricas e execução de experimentos.

Os esforços, inicialmente, foram direcionados aos experimentos sem síntese, mas devido ao empenho dos acadêmicos envolvidos no projeto, que participaram dos encontros semanais do grupo de estudos sobre Química Verde, foram selecionados experimen-

tos de síntese orgânica para seus trabalhos de conclusão de curso, de natureza mais complexa e que, portanto, costumam ser mais impactantes do ponto de vista da verdura química. Na sequência, houve a necessidade de se ampliar o projeto, incluindo novos objetivos: i) analisar a verdura química de experimentos de síntese orgânica; ii) elaborar material didático para o Ensino Médio a partir dos experimentos reestruturados.

Além disso, o emprego das métricas na análise de protocolos experimentais desperta a criticidade em relação à análise da verdura química dos experimentos realizados no curso, bem com aqueles propostos para o Ensino Nédioio.

Dessa forma, a participação no projeto possibilita aos indivíduos aprofundar seus conhecimentos científicos no que concerne aos saberes da Química e da Química Verde, vivenciar investigação científica e construir saberes atitudinais referentes à atuação química comprometida com a sustentabilidade socioambiental.

É importante destacar que o grupo de trabalho do IFPR, *campus* Palmas, professores das componentes curriculares, e os professores participantes do projeto, em especial, têm contribuído para que os licenciandos se interessem pela temática da Química Verde, com o intuito de transpor esses conhecimentos para o ensino. Isso é verificado no interesse em se aplicar as métricas em seus trabalhos de conclusão de curso, e posteriormente, seja na pesquisa ou aplicação em sala de aula, à medida que este profissional ingressa na educação básica.

Considerações finais

Por meio desse relato, objetivou-se apresentar como a Química Verde está sendo articulada ao processo formativo dos licenciandos em Química do *campus* Palmas como forma de proporcionar novas vivências aos docentes e discentes nessa nova forma de refletir sobre a condução de processos químicos e as formas pelas

quais essa temática pode ser articulada ao ensino, à pesquisa e à extensão, maximizando suas potencialidades.

Esse movimento é bastante desafiador para os envolvidos no processo educativo, pois engloba conceitos que, embora muito necessários, são complexos, requerendo o estudo de vários fatores que normalmente são ignorados, em especial nas aulas em laboratório.

Assim, esse curso de Licenciatura em Química tem auxiliado no compartilhamento de informações e boas práticas, constituindo-se num momento e espaço de reflexão acerca do papel da Química (e do químico) na sociedade, na tecnologia e no ambiente, repercutindo em uma formação cidadã e profissional baseada na ética e na responsabilidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos demais professores e estudantes participantes do projeto e que têm mobilizado a discussão sobre a importância de Química Verde em diversos âmbitos.

Referências

BOLZAN, J. A.; GOMES, S. I. A. A.; SANDRI, M. C. M. Extração do paracetamol comprimidos: uma técnica verde para o ensino de química farmacêutica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Conselho Pleno. **Resolução CNE/CP nº 2, de 19 de fevereiro de 2002**. Brasília. 2002.

BRASIL. Ministério da Educação, Conselho Nacional de Educação. Conselho Pleno. **Resolução CNE/CP nº 2, de 1º de julho de 2015**.

CHAVES, C. M. M. **Novas metodologias em química sustentável**. (Dissertação) (Mestrado em Química) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2015.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física. Eletromagnetismo e Física Moderna**. 3. Editora Ática. Segunda Edição, 2017.

IFPR. Conselho Superior. **Plano de Desenvolvimento Institucional (2009 - 2012)**. Curitiba, 2009.

IFPR. Colegiado de Licenciatura em Química. **Projeto Pedagógico de Curso de Licenciatura em Química - campus Palmas**. Palmas/PR, 2011.

IFPR. Colegiado de Licenciatura em Química. **Projeto Pedagógico de Curso de Licenciatura em Química - campus Palmas**. Palmas/PR, 2014.

IFPR. Colegiado de Licenciatura em Química. **Projeto Pedagógico de Curso de Licenciatura em Química - campus Palmas**. Palmas/PR, 2017a.

IFPR. Conselho Superior. **Resolução nº 19, de 24 de março de 2017**. Curitiba. 2017b.

LENARDÃO, E. J. *et al.* "Green chemistry": Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003.

MACHADO, A. A. S. C. **Introdução as Métricas da Química Verde: Uma Visão Sistêmica**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2014.

ORTIZ, M. de. Á. **Reações Átomo-Econômicas Em Síntese Orgânica**. 2007. (Monografia). Bacharelado e Licenciatura em Química – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, 2007.

PIRES, T.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Extração do R-(+)-limoneno a partir das cascas de laranja: avaliação e otimização da verduira dos processos de extração tradicionais. **Química Nova**, v. 41, p. 355-365, 2018.

RAMOS, M. A. F. A. C. **Química Verde: potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário**. (Dissertação). Mestrado em Química para o Ensino – Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

RIBEIRO, G.; MACHADO, A. **Pedagogia da Química Verde**. 2008. Disponível em: <<http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde>>. Acesso em: 31/01/2023.

RIBEIRO, M. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Novas métricas holísticas para avaliação da verduira de reações de síntese em laboratório. **Química Nova**, v. 35, p. 1879-1883, 2012.

SANDRI, M C M. **Contribuição da inserção do Enfoque CTSA e da Química Verde na formação de licenciandos em Química**. (Tese). Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2016.

SANDRI, M. C. M.; GOMES, S. I. A. A.; BOLZAN, J. A. **Química Orgânica Experimental - Aplicação de Métricas Holísticas de Verduira: Estrela Verde e Matriz Verde**. Curitiba: Editora IFPR, 2018. 173 p.

SHELDON, R. A. The E factor 25 years on: the rise of green chemistry and sustainability. **Green Chemistry**, v. 19, n. 1, p. 18-43, 2017.

A Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável na Perspectiva da Formação de Professores de Química: O que, como e por que ensinar?

Carlos Alberto da Silva Júnior
Dosil Pereira de Jesus
Gildo Giroto Júnior

A formação de professores de química: uma breve avaliação

No campo da educação em química, diferentes áreas de investigação têm sido destacadas há tempos (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995). A formação de professores, apesar de amplamente investigada, ao nosso entender, carece de constantes debates na área da Química, principalmente devido às constantes reformulações originárias de reformas tanto na educação básica quanto nos próprios cursos de formação (SANTOS; LIMA; GIROTO JÚNIOR, 2020). Por esta razão, propomos, como introdução, uma breve discussão em relação a essa linha de investigação.

Começemos com as eloquentes palavras dos professores Dr. Paulo Alves Porto e Dra. Salete Linhares Queiroz, da Universidade de São Paulo (USP), num editorial da revista Química Nova na Escola (QNEsc), em 2017. Nele, inicialmente, esses autores indagaram o que seria preciso para ser um professor. Em seguida, denunciaram iniciativas abusivas e réprobas que alinham o ser docente ao ser uma espécie de “quebra-galho”. Por exemplo, discutiu-se a bizarra ideia do “Uber Educação”, na qual uma possível alternativa para a carência de professores na escola seria buscar pessoas por

um “acionamento que se daria por aplicativos, mensagens de celular ou redes sociais. Após receber a chamada, o professor teria 30 minutos para responder se aceita a tarefa e uma hora para chegar à escola” (PORTO; QUEIROZ, 2017, p. 311). Por ser tão distópica, a mesma foi negada pelos órgãos competentes. No texto citado, Porto e Queiroz afirmam:

a cada vez que nos deparamos com situações como essas, reveladoras da desvalorização do trabalho docente pela sociedade, nos perguntamos: como incentivar os jovens a se tornarem professores? Que atrativo ainda pode haver na profissão? Em termos objetivos, há pouco a dizer. Aparentemente, só nos resta contar com o desejo de muitos jovens de mudar o mundo – ou talvez fosse melhor dizer, de mudar o mundo mudando as pessoas por meio da Educação (PORTO; QUEIROZ, 2017, p. 311).

De forma geral, ao reconhecermos a essencialidade da profissão, compreende-se que é preciso “investir no conceito de desenvolvimento profissional, superando a visão dicotômica de formação inicial e de formação continuada” (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2021, p. 18). Sob esse viés, Schnetzler e Aragão (1995) destacam ainda, como justificativa para a pesquisa sobre a formação de professores, a relação direta entre a melhoria do processo de ensino e aprendizagem com a reflexão crítica do professor em sua ação e constante aprimoração docente, a construção do binômio professor-pesquisador nos cursos de licenciatura e a superação de uma visão simplista da atividade docente por parte dos professores.

Nesse sentido, a formação inicial, nos cursos de licenciatura (BRASIL, 1996), precisa ser crítica e reflexiva, não objetivando diplomar, de forma aligeirada, pessoas para atender puramente as orientações legais (ALMEIDA; SOARES; MESQUITA, 2012; SILVA; MESQUITA, 2018) ou as diretrizes internacionais, como da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (BOGATSCHOV; FERREIRA; MOREIRA, 2022). Existe o pressu-

posto de que a formação docente é permanente, tendo seu início, provavelmente, na formação escolar elementar ou básica, quando se tem contato com profissionais que trazem as primeiras ideias ou o conceito inicial do “ser professor” (MALDANER, 1999). Neste capítulo, utilizamos o termo “formação de professores”, principalmente, nas vivências em cursos de licenciatura (formação inicial) ou em cursos de aprimoramento profissional após a formação inicial (formação continuada).

De acordo com Schnetzler (2002), a formação continuada não se trata de uma concessão ao professorado, mas um direito. Em suas palavras, “a formação continuada é um processo de aprendizagem e de socialização, de natureza voluntária, informal e pouco previsível, que está centrado na interação entre colegas e nos problemas que trazem de suas práticas docentes” (SCHNETZLER, 2002, p. 16). Neste contexto, os cursos de formação continuada se destinam ao investimento da qualificação desses profissionais. Em outras palavras, prevê-se “a ideia de que o professor não é objeto do planejamento do trabalho, mas agente ativo desse processo” (LIMA, 1996, p. 13). Nessa perspectiva, esses cursos oportunizam ao professorado a chance de se aperfeiçoar em abordagens didáticas e com recursos instrucionais não contemplados na graduação.

De acordo com Gonzaga, Paiva e Eichler (2020):

a formação continuada se tornou um pré-requisito para uma transformação docente mais pronunciada, devido às oportunidades que surgem ao docente durante o processo de formação para vivenciar pesquisas e experiências que podem ser aplicadas em sua atuação profissional. (GONZAGA; PAIVA; EICHLER, 2020, p. 504)

As frequentes, por vezes também súbitas e impositivas, alterações na legislação alertam igualmente para a necessidade de uma constante e crítica reflexão das propostas curriculares dessa formação. Em 2019, foram aprovadas as novas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica, intitulada de BNC-Formação, as quais sinalizam que “a formação docente é o fator mais importante para a melhoria da quali-

dade do ensino e da aprendizagem escolar dos estudantes” (BRASIL, 2019, p. 34). Nesse sentido, Santos, Lima e Girotto Júnior (2020) alertam para um olhar mais específico no formato das disciplinas e sua distribuição ao longo do curso, bem como na interpretação e na implementação das Práticas como Componente Curricular (PCC). Em suma, o “contexto de construção do currículo dos cursos e de como as atividades e conteúdos são desenvolvidos pode fornecer subsídios para a estruturação de propostas formativas mais condizentes com as diferentes realidades” (SANTOS; LIMA; GIROTTTO JÚNIOR, 2020, p. 985).

Compreendemos também que os principais desafios enfrentados pelos professores de Química se manifestam porque, de forma genuína e acautelada, tais profissionais objetivam e têm por necessidade:

melhorar a aprendizagem de seus alunos; querem que estes passem a se interessar pela Química, tornando seu ensino mais significativo para a vida de seus alunos e para si próprios; querem ter mais clareza sobre o que precisa ser ensinado de Química na escola fundamental e média; querem ter maior fundamentação em Química e em Educação, que lhes permita construir seus próprios programas, já que, usualmente, reconhecem que o programa tradicional de Química tem pouca serventia para seus alunos; querem conhecer e discutir possibilidades de como alcançar tais propósitos pedagógicos; enfim, querem se tornar melhores professores (SCHNETZLER, 2002, p. 17).

Diante disso e baseando-se nos estudos de Eilks e Linkwitz (2022), que discutem sobre o esverdeamento do currículo de química, entendemos que as discussões sobre os currículos nas universidades e os programas de formação precisam envolver temáticas ambientais, como a Química Verde. Consideremos que melhorias no Ensino da Química Verde se relacionam diretamente com a reestruturação curricular a serem oferecidas pelas instituições de ensino. Entretanto, alertamos, nas palavras de Mourão e Ghedin (2019), que:

currículo para formar professores de química deve prover seus objetivos das necessidades dos estudantes e da sociedade, mas estas precisam ser ditas pelos sujeitos que participam ativamente desta formação, e não só por especialistas de currículo e pela legislação. Isto significa que os futuros professores precisam ser ouvidos na elaboração dos projetos pedagógicos dos seus cursos (MOURÃO; GHEDIN, 2019).

Devido à carência nos currículos de formação em relação a aspectos voltados ao trabalho com a Química Verde, torna-se preocupante a forma como esse tema será futuramente trabalhado no campo educacional (ALMEIDA et al., 2019; GOMES et al., 2022). Nesse sentido, “o tema por si só não delimita os conceitos e conteúdos que devem ser estudados, mas a intencionalidade dos professores sempre influenciará na seleção dos conhecimentos que serão introduzidos para a compreensão do tema” (COSTA-BEBER; RITTER; MALDANER, 2015, p. 17). É preciso trabalhar com aspectos da contextualização, que evoca “áreas, âmbitos ou dimensões presentes na vida pessoal, social e cultural, e mobiliza competências cognitivas já adquiridas” (BRASIL, 1999, p. 91). Em outras palavras, defendemos nesta pesquisa que contextualizar é mediar os significados dos conceitos químicos relativos à Química Verde a partir das questões que emergem da vivência dos alunos (ROSA; QUINTINO; ROSA, 2001; MARCOLAN; MALDANER, 2015; FERRARINI; BEGO, 2020).

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é apresentar, de forma introdutória, a Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável (TPQVS) como um recurso interdisciplinar e auxiliar com potencial de melhorar o ensino e a aprendizagem de Química Verde na formação docente. Buscamos explorar alguns conceitos e possibilidades para o ensino da QV, utilizando como instrumento a TPQVS. Destacamos que as possibilidades aqui apresentadas visam iniciar um diálogo que pode ser amplamente expandido por meio de outras práticas e investigações sobre o tema e, portanto, almejamos promover uma contribuição dentro de um amplo espectro de

potencialidades. O foco, neste trabalho, está nas questões mais amplas relacionadas à incorporação da TPQVS na formação docente.

Tabela periódica da química verde e sustentável (TPQVS)

Para uma melhor compreensão do recorte feito neste texto, torna-se, inicialmente, necessário apresentar o que seria a TPQVS, trazendo um breve panorama sobre a mesma, explorada de forma mais abrangente no trabalho “Química Verde e a Tabela Periódica de Anastas e Zimmerman: Tradução e Alinhamentos com o Desenvolvimento Sustentável” (DA SILVA JÚNIOR; JESUS; GIROTTTO JÚNIOR, 2022). Em seguida, discutiremos, de forma interpretativa e propositiva, possibilidades do uso da TPQVS em cursos de formação de professores de Química.

O que é a TPQVS?

Em termos históricos, a TPQVS foi cunhada, originalmente na língua inglesa, pelo casal de pesquisadores Paul T. Anastas e Julie B. Zimmerman (2019), no Ano Internacional da Tabela Periódica (IYPT, 2019). Naquele ano, comemorou-se a passagem dos 150 anos da publicação da primeira Tabela Periódica dos Elementos Químicos (TPEQ) por Dmitri Mendeleev, no ano de 1869.

Em recente publicação, Da Silva Júnior, Jesus e Girotto Júnior (2022) apresentaram a tradução da TPQVS para a língua portuguesa, seguindo rigorosos detalhes semânticos e contextuais necessários para esse processo. Os autores também identificaram algumas oportunidades de ensino em alinhamento com um futuro sustentável.

Conforme ilustrado na Figura 1, a TPQVS apresenta 90 elementos figurativos, organizados em 7 linhas horizontais e 18 colunas verticais ou grupos, que por sua vez, se dividem em 4 conjun-

tos benignos e nutritivos (Bf); garantir justiça ambiental, segurança e oportunidades equitativas (J); química para preservar o carbono natural e outros ciclos biogeoquímicos (Pc); sem produtos químicos em prol de guerra ou opressão (Wo).

O bloco dos “Elementos da Química Verde e da Engenharia Verde” apresenta 40 elementos figurativos, que foram divididos em 10 grupos, a saber: prevenção de resíduo, economia atômica, síntese menos perigosa, design molecular, solventes/produtos químicos auxiliares, energia, matérias-primas renováveis, catálise, degradação, e medição e conscientização. Por sua vez, o bloco “Elementos de Habilitação das Condições de Sistema” apresenta 30 elementos figurativos, divididos em 5 grupos: estruturas conceituais, economia e forças de mercado, métricas, políticas e regulamentos, e ferramentas.

Por fim, o bloco dos “Elementos Nobres” é constituído por 7 elementos figurativos, a saber, juramento hipocrático para química (Ho), design para o futuro (P), produtos e processos compatíveis com a vida (Lp), desperdício zero (Z), química equitativa e totalmente inclusiva (Fi), benefícios distribuídos equitativamente (De) e conhecimento químico extraordinário advém com extraordinária responsabilidade (K).

Essa sucinta descrição do que é a TPQVS visou aclarar alguns de seus aspectos gerais. Tal como ocorreu, historicamente, com a TPEQ, espera-se que contribuições possam ser propostas para a TPQVS. Como afirmaram Anastas e Zimmerman (2019), ela não é definitiva e novos elementos figurativos podem ser propostos futuramente. Deste modo, evidencia-se que tal proposta enciclopédica está sujeita a críticas e reformulações. Realizada esta explanação inicial, por que a TPQVS poderia ser uma ferramenta com potencialidades na formação de professores de Química?

Como e por que ensinar a TPQVS?

A provável resposta para a indagação de como e por que ensinar a TPQVS nos cursos de formação não é uma tarefa fácil. Na verdade, a sua recente inserção no mundo científico traz mais indagações do que respostas prontas. Partindo do pressuposto de que “o fenômeno educativo é complexo e singular, não cabendo receitas prontas produzidas por terceiros, sejam coordenações pedagógicas, secretarias de educação ou mesmo universidades bem-intencionadas para com o trabalho docente” (SCHNETZLER, 2002, p. 15), inferimos que a TPQVS amplia possibilidades de Ensino da Química Verde, nos cursos de formação (inicial ou continuada) de professores, como justificado a seguir.

Intuitivamente, ao vislumbrar e identificar os elementos figurativos da TPQVS, observamos a riqueza de informações, que têm potencial para concepções mais holísticas da Química Verde. Por exemplo, destacamos os elementos figurativos (i) “transparência química” (Ct), que implica na divulgação, de forma honesta e acessível, de todas as substâncias utilizadas na concepção de um produto; (ii) “sem produtos químicos em prol de guerra ou opressão” (Wo), que permite o estudo de múltiplas implicações sociais da ciência, e ainda, (iii) “conhecimento químico extraordinário advém com extraordinária responsabilidade” (K), o qual permite o debate dos impactos humanos ao meio ambiente.

Outro ponto interessante, é que Ferreiro e Arroio (2013) acreditam que, de forma geral, os graduandos em Química “não percebem a visualização como uma metodologia de ensino, mas como uma ferramenta de uso pontual para auxiliar a aprendizagem” (FERREIRO; ARROIO, 2013, p. 207). Nesse sentido, inferimos que a TPQVS também tem seu valor educacional na promoção de competências metavisuais.

Trabalhar a QV em termos de sua definição pautando-a como “a invenção, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas” (TUNDO et al., 2000, p. 1207), seguindo com a apresen-

tação dos 12 princípios (ANASTAS; WARNER, 2000), ilustrados na Figura 2, e apresentando posteriormente alguns casos e experimentos que podem ser realizados para relacionar teoria e prática é uma das abordagens convencionais para a temática. No entanto, esta abordagem leva a uma visão conceitual, mas que, do ponto de vista cotidiano e focando na formação contínua de professores, não explora aspectos mais amplos e contextuais.



Figura 2: Os 12 princípios da Química Verde propostos por Anastas e Warner (2000).

Faz-se necessário compreender e trabalhar, ao longo da formação, com a concepção de que a QV se apresenta como uma nova forma de pensar. Dizer que a Química Verde é composta por 12 princípios é apenas uma forma introdutória e, por vezes, essa abordagem se limita, no contexto educacional, ao modelo transmissão-recepção ou à visão empírico-positivista de Química, na qual “para ensinar basta saber um pouco do conteúdo específico e utilizar algumas técnicas pedagógicas, já que a função do ensino é transmitir conhecimentos que deverão ser retidos pelos alunos” (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995, p. 27). Ademais, os futuros professores muitas vezes não estão familiarizados com os próprios conceitos da Química Verde, dentre outros fatores, pela ausência de recursos educacionais para sua maior divulgação, interpretação e implementação. Nesse sentido, faz-se necessário dois aspectos principais: a abordagem dos próprios conceitos relacionados à

QV e o trabalho com novos recursos educacionais e metodológicos para o ensino.

Nesse contexto, a TPQVS pode ser compreendida como uma representação pictográfica capaz de popularizar a Química Verde, servindo até mesmo de inspiração para abordagens diferentes da perspectiva transmissivo-receptiva na área educacional. Os 90 elementos figurativos da TPQVS englobam temas que permitem a divulgação científica de conceitos, métricas, ações e até mesmo os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esse recurso multidisciplinar foi bem elaborado e ajuda na instrumentalização dos licenciandos.

De acordo com Porto e Queiroz (2022), “a concepção de metodologias alternativas só é possível se os professores estiverem bem instrumentalizados – daí a importância de se refletir sobre a formação e a prática de professores” (PORTO; QUEIROZ, 2022, p. 276). Sob esse viés, a instrumentalização é parte integrante do “ser professor de Química”, perfazendo seus saberes docentes (TARDIF, 2014) e suas habilidades metavisuais (FERREIRO; ARROIO, 2013).

Dessa forma, a Química - auxiliada pela TPQVS - precisa transpor a visão, recorrente no ideário discente, de constituir-se apenas como conjunto de conteúdos específicos a serem transmitidos/recebidos na graduação. É preciso ver a Química “como atividade criativa humana, que está inserida em um meio social, atende a determinados interesses de grupos sociais e se insere nas relações de poder que perpassam a sociedade. Saber química é, também, saber posicionar-se criticamente” (MALDANER, 1999, p. 290).

Essa discussão torna-se salutar, afinal:

a característica do atual conhecimento científico, tecnológico e profissional não permite mais que se pense um curso de graduação como a formação definitiva de um profissional. Não só a contínua atualização, mas também a contínua produção do conhecimento profissional apontam para um novo processo de formação: a conversação com uma situação concreta que se manifesta complexa, única e conflituosa. Não há conhecimento produzido acumulado que possa ser aplicada

a tal situação. A sala de aula é assim! (MALDANER, 1999, p. 292)

Por exemplo, no momento de discussão sobre a história da Química Verde, a TPQVS também surge como uma ferramenta humana de potencial provocação e reflexão para a realidade de que esse aspecto histórico-social-cultural da ciência não é acabado, estático ou finito, mas está em constante (re)escritura dinâmica e elástica, sendo inclusive (re)criado e (re)visto, de forma participativa e colaborativa, pelos professores em formação.

Nas palavras de Maldaner (1999, p. 289), é preciso:

permitir que se pense um professor em constante atualização, capaz de interagir positivamente com os seus alunos, problematizar as suas vivências e convertê-las em material de reflexão com base nas construções das ciências e outras formas culturais e, assim, contribuir para a transformação e recriação social e cultural do meio” (MALDANER, 1999, p. 289)

Ademais, a estruturação metafórica da TPQVS pode favorecer um ensino não-dicotômico entre teoria e prática, uma maior discussão entre professor-aluno e/ou aluno-aluno, bem como uma melhor organização dos conceitos científicos a serem abordados no processo de ensino e aprendizagem. Neste contexto, destacamos que “o ensino e a aprendizagem não são sinônimos de transmissão e recepção de informações: a aprendizagem implica evolução conceitual, e o ensino, sua promoção” (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995, p. 30).

Neste ponto, é importante destacar que tal como ocorre na apresentação didática da TPEQ, não existe aqui a obrigatoriedade de se decorar ou, muito menos, de se estimular a memorização simplista dos elementos figurativos da TPQVS. O fundamento educacional é a sua compreensão, num contexto histórico, social, cultural, crítico, reflexivo e pedagógico. Assim, para o professorado, tal como ocorre na TPEQ, é a prática diária e o envolvimento constante

com esse recurso que trará, progressivamente, a sua familiarização, com a reorganização e o desenvolvimento de concepções.

Possíveis contribuições da TPQVS na formação do professor

Por muitos anos, os cursos de formação de professores foram pautados na perspectiva “3 + 1”, isto é, os estudantes cursavam em três anos as disciplinas específicas da Química e num outro as pedagógicas. De acordo com Schnetzler (2002, p. 25): “dessa formação distorcida tem resultado o reforço de concepções simplistas sobre o ato de ensinar Química: basta saber o conteúdo químico e usar algumas estratégias pedagógicas para controlar ou entreter os alunos”. Neste cenário, perpetuou-se um privilégio dos conhecimentos químicos em detrimento daqueles relacionados à docência (MOURÃO; GHEDIN, 2019).

Neste contexto histórico, vale destacar que “muitos dos dilemas da formação de professores de Química decorrem do modelo curricular dominante, apendicular ao bacharelado” (GAUCHE et al., 2008, p. 29). Por vezes, nesses cursos a prioridade estava em “práticas que envolvem a experimentação e a formação química do docente, marginalizando o que deveria ser o foco principal, a docência” (HEIDELMANN, PINHO; LIMA, 2017a, p. 266).

Em virtude de mudanças na regulamentação dos cursos de formação de professores e nas suas estruturas curriculares (SANTOS; LIMA; GIOTTO JÚNIOR, 2020), avanços podem ser observados. Por exemplo, com as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores (BRASIL, 2002), houve a criação de disciplinas integradoras que trabalham questões da Química e da Pedagogia concomitantemente, a exemplo das Práticas como Componentes Curriculares (BRASIL, 2002; KASSEBOEHMER; FARIAS, 2012; SILVA; GUIMARÃES, 2019; BEGO; OLIVEIRA; CORRÊA, 2017).

Atualmente, os componentes curriculares (CC) integram os currículos dos cursos de formação. De forma mais específica, são as chamadas “disciplinas” ministradas ao longo da graduação. No caso das licenciaturas, em geral, as CC podem ser agrupadas em: (i) obrigatórias ou optativas; (ii) núcleo pedagógico, específico ou comum. Nos Projetos Pedagógicos do Curso (PPC) é possível identificar que as CC aprovadas podem variar de acordo com o sistema educacional (público e privado), bem como as modalidades de ensino (presencial, a distância ou híbrido). Como há CC optativas, infere-se também que essa variação se relaciona com escolhas específicas das diferentes instituições de ensino. Apesar dessas variações, os CC objetivam o desenvolvimento de habilidades e conhecimentos, sendo projetados para atender às demandas educacionais dos seus discentes que atuarão em diferentes setores da sociedade.

Quanto à presença da Química Verde como CC, é preocupante o cenário brasileiro nos cursos de formação docente. Segundo o mais recente levantamento sobre a inclusão de conceitos da QV nas Licenciaturas em Química no Brasil, não mais que aproximadamente 18% ($n = 16$) das matrizes curriculares de Licenciaturas em Química ($n = 87$) dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia contemplavam a temática de Química Verde (GOMES et al., 2022). Esse resultado corrobora com os baixos percentuais apontados previamente por Almeida et al. (2019) em mapeamento realizado nas instituições de ensino superior públicas de todo país. Portanto, há uma lacuna sobre a temática da Química Verde nos cursos de formação de professores e aos docentes em exercício no Brasil.

Nessa perspectiva, observa-se que “o papel do conhecimento químico como base para a inovação, alfabetização científica e a solução de problemas em conexão com o desenvolvimento sustentável se perde nos países onde ele seria mais necessário” (FERNANDEZ, 2018, p. 221). O Brasil enfrenta graves crises em questões ambientais. Trata-se de uma realidade que pode ser transformada por meio da educação ambiental. É preciso uma maior inserção curricular dessa pauta.

Como conteúdo dos componentes, obrigatórios e/ou optativos, na matriz curricular, a Química Verde por meio da TPQVS

seria abordada de forma direta, levando em conta as condições estruturais dos ambientes educacionais. Por exemplo, no Instituto Federal do Rio de Janeiro existe a disciplina optativa intitulada “Química Verde”, oferecida na modalidade graduação presencial. Assim, uma possibilidade é a abordagem da TPQVS como um novo conteúdo previsto no plano de unidade curricular. Outra possibilidade, em avaliação no Instituto Federal da Paraíba, é a criação de uma disciplina optativa sobre a origem e as implicações da TPQVS para o Ensino de Química. Neste contexto, destacamos que “a função do ensino não está centrada na transmissão de conhecimentos prontos e verdadeiros para alunos considerados ‘tábulas rasas’, isto é, mentes vazias a serem preenchidas com informações” (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995, p. 27).

Ainda nesta possibilidade de intervenção, é importante a ideia de um currículo em espiral, que “implica na seleção de conceitos fundamentais e em sua organização através de grandes temas centrais, promovendo um maior inter-relacionamento entre as informações químicas” (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995, p. 29). De acordo com Heidelmann, Pinho e Lima (2017a, p. 266):

o ensino superior deve perder seu caráter introspectivo, fundado e baseado em si mesmo, e considerar as questões sociais, a relação com a Educação Básica e o compromisso ético-político como ponto de partida, reflexão e chegada das práticas orientadas pelos documentos oficiais dos cursos e vivências estabelecidas pelos profissionais que atuam e são formados dentro desse universo (HEIDELMANN; PINHO; LIMA, 2017a, p. 266).

Outro fator relevante a ser considerado é de que essa inclusão em forma de CC é um importante passo, para além da divulgação da TPQVS, pois, indubitavelmente, trata-se de uma “conscientização inicial para, num futuro próximo, se tornar uma práxis, de tal forma que os princípios da Química Verde sejam incorporados em todas as subáreas da Química, visando alcançar assim a Química Sustentável” (ZEIDLER; MELLO, 2022, p. 104). Em outras palavras, espera-se que os esforços não se limitem à curricularização, mas

alcancem a ideia de transversalização. Há publicações relatando experiências da inclusão de disciplinas de Química Verde em cursos de graduação no Brasil (JACOB et al., 2022).

No entanto, é importante destacar que as CC não são a única possibilidade de intervenção disponível. Na verdade, existem autores que até criticam a curricularização disciplinar de novos conteúdos, feita, por vezes, de forma acrítica e impositiva. Na literatura, há outras formas, criativas e inovadoras, na implementação de novos saberes. Por exemplo, Burmeister et al. (2012) sugerem modelos possíveis de integração da QV no currículo e nas práticas escolares, e destacamos o seu modelo de Educação Química como parte de um projeto escolar para o desenvolvimento sustentável, no qual observa-se o protagonismo juvenil na tomada de decisões (BURMEISTER et al., 2012). Ademais, existe a formação sob uma orientação curricular do movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), no qual se alinham princípios, dentre outros, de equidade e de sustentabilidade (REBELO; MARTINS; PEDROSA, 2008). Nessa perspectiva, “o trabalho docente se constrói na complexidade das intervenções pedagógicas” (ROSA; QUINTINO; ROSA, 2001, p. 38). Por sua vez, Aubrecht et al. (2019) defendem um Ensino da Química Verde na perspectiva de pensamento sistêmico, que abrange um novo paradigma da ciência (VASCONCELLOS, 2019; MEADOWS, 2022).

Partindo desse pressuposto, inferimos que a transversalidade, por meio de intervenções pedagógicas, oferece oportunidades pelas quais os discentes podem desenvolver suas habilidades e conhecimentos sobre a TPQVS. Por exemplo, é possível participar de atividades extracurriculares e se envolver em projetos de pesquisa e extensão vinculados ao ensino temático. É possível uma intervenção ao longo da matriz curricular, isto é, abordando a TPQVS dentro de um tema contemporâneo transversal (TCT).

Por definição, TCT “buscam contextualização do que é ensinado, trazendo temas que sejam de interesse dos estudantes e de relevância para seu desenvolvimento como cidadão” (BRASIL, 2019, p. 5). Assim, propõe-se que Meio Ambiente, Saúde e Cidadania, como TCT, permitam a discussão, o ensino e a compreensão de elemen-

tos figurativos da TPQVS. Por exemplo, ao incorporar, de forma transversal e integradora, o grupo “Elementos Humanitários”, em Bioquímica, Química Geral e História das Ciências, surgem pontos de discussão no contexto educacional, os quais não pertencem a uma área exclusiva do conhecimento. A integração dessas disciplinas com diversos temas é uma maneira de dar mais significado aos conhecimentos. Mais especificamente, elementos figurativos como “Acesso à água segura e confiável” (Sw), “Química para a produção de alimentos benignos e nutritivos” (Bf) e “Garantir justiça ambiental, segurança e oportunidades equitativas” (J) podem, de forma alinhada e intencional, ampliar uma abordagem mais cidadã e sustentável, evidenciando que é importante não apenas avaliar o conhecimento adquirido no curso, mas saber o que os licenciandos podem fazer com o conhecimento adquirido em tais disciplinas.

Essa percepção fica ainda mais evidente ao elucidarmos elementos figurativos como “Química para o bem-estar” (Cw)” e “Sem produtos químicos em prol de guerra ou opressão” (Wo), que, por si só, fomentam temas que estão relacionados a essa formação de profissionais mais compromissada com problemáticas locais, regionais e globais. Neste contexto, a TPQVS é passível de ser trabalhada com diferentes TCT, envolvendo, por exemplo, questões sociocientíficas, sensibilização e mobilização de habilidades e competências.

Ao avaliar a riqueza de elementos figurativos da TPQVS, é possível articular os conhecimentos técnicos da área de Química com os conhecimentos do fazer pedagógico. Essa inclusive é uma das falhas apresentadas na formação desses profissionais (MOURÃO; GHEDIN, 2019). De igual modo, é perceptível a necessidade de reflexão epistemológica do professorado ao trabalhar com e sobre a TPQVS. A epistemologia docente é pauta a ser discutida nos cursos de formação, pois trata-se de um pressuposto para “uma formação mais crítica e para a superação do modelo tecnicista ainda predominante nessa área” (LÔBO; MORADILLO, 2003).

É urgente e necessária essa relação curricular, mais ampla e formativa, com os conceitos atuais de sustentabilidade e educação para a sustentabilidade (ZOWADA; NIEBERT; EILKS, 2022). As

professoras Dra. Vânia G. Zuin Zeidler e Dra. Paula H. Mello (2022), em edição especial sobre desenvolvimento sustentável na revista Química Nova na Escola (QNEsc), relataram que a Química Verde precisa ser abordada de forma mais holística, o que basicamente implica numa atuação mais crítica, dialógica e contextualizada na área. Em suas palavras (ZEIDLER; MELLO, 2022, p. 104):

há uma demanda crescente por uma formação mais contextualizada de todas as pessoas e de profissionais de Química, a qual possibilite integrar também conhecimentos de outros campos, como das Ciências Humanas, de modo a proporcionar uma compreensão mais holística e crítica da realidade (ZEIDLER; MELLO, 2022, p. 104).

Nesse sentido, cabe também a reflexão de que os professores de Química não apenas ministram aulas na Educação Básica ou em cursos específicos de sua área (Licenciaturas e Bacharelados em Química), mas atuam na formação participativa de outros profissionais no campo universitário, como as Engenharias e cursos da área da saúde. Sob esse viés, o despreparo ou o descomprometimento com a Química Verde pode impactar tais áreas, limitando a sua abordagem na racionalidade técnica ou nas concepções empírico-positivistas, que se vinculam epistemologicamente num paradigma totalitário (SOUSA; SANTOS; GALIAZZI, 2019).

Para os licenciandos e professores formados, essa pode ser uma oportunidade de passar a vislumbrar a Química Verde como um campo científico no qual eles podem atuar e contribuir para o desenvolvimento da sociedade com outros profissionais. Nesse sentido, “a interação entre pares é considerada prática importante na formação, na atuação e no desenvolvimento profissional de professores” (MARCOLAN; MALDANER, 2015, p. 222).

No contexto do binômio professor-pesquisador, “adotar a pesquisa como eixo da formação do formador pode proporcionar condições formativas que possibilitem explicar, refletir e superar aspectos gerais e específicos vinculados à ação docente do formador” (BENITE; BENITE; ECHEVERRIA, 2010, p. 266). As implicações

para essa postura trazem o ato de educar pela pesquisa como competência profissional docente (BEGO; OLIVEIRA; CORRÊA, 2017).

Nessa dimensão, é possível também implementar projetos de investigação científica, atividades de campo ou extensionistas, discussões em sala de aula, e igualmente propor aulas experimentais que utilizem o laboratório para explorar e investigar problemas práticos envolvendo elementos figurativos da TPQVS, dentre outros. Essas possibilidades precisam se relacionar com o binômio professor-pesquisador (MALDANER, 1994, SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995) nos cursos de licenciatura. Em outras palavras, é preciso “superar o distanciamento entre o desenvolvimento de pesquisas no ensino de química e a utilização das mesmas para a melhoria desse ensino em sala de aula. Nesse sentido, há uma convicção crescente de que a pesquisa educacional precisa ser feita com a participação do professor” (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995, p. 31). Na literatura, é possível observar a existência de projetos de pesquisa que incorporaram o trabalho docente com a QV, incluindo novas metodologias inclusivas de ensino (SOUZA et al., 2022; BEYOND BENIGN, 2022; VELOZO et al., 2023).

Ainda sobre o binômio professor-pesquisador, projetos de pesquisa podem permitir ao professor em formação se aperfeiçoar como pesquisador, fomentando e valorizando de tal modo a pesquisa como produtora do ensino (MALDANER, 1999). Do ponto de vista pedagógico, a pesquisa educacional também é uma forma mais assertiva de ensinar elementos figurativos de maior complexidade. Como adverte Maldaner (1999, p. 291):

o equívoco na docência está em pensarmos que os conceitos da ciência que levamos para a sala de aula possam ser assimilados pelos alunos só porque externalizamos os nossos significados que possuímos naquele momento. A pesquisa liga-se ao ensino, que vai produzir um novo ensino, deverá identificar situações nas quais possam ser introduzidos os conceitos de ciência que desejamos que os alunos aprendam (MALDANER, 1999, p. 291).

Sendo assim, a pesquisa proporcionaria em maior competência o ensino, como um par conjugado para o professorado (MALDANER, 1999). Essa pesquisa educacional pode vir ligada a uma ou mais disciplinas da matriz curricular, sendo realizada ao longo do curso de formação. Isso pode trazer maior compromisso social do alunado. É preciso que “o futuro professor se perceba como elemento de concretização do projeto educacional de um país” (MESQUITA; SOARES, 2014, p. 1077).

Em todas essas iniciativas, reafirmamos a necessidade de diálogo com políticas públicas. É utópico pensar em uma real transformação sem todos os agentes responsáveis trabalhando juntos. Nas palavras de Firme e Galiazzi (2014, p. 148), espera-se que essa política pública:

favoreça a formação continuada integrada à formação inicial, em que o planejamento coletivo de atividades experimentais seja uma das atividades a serem potencializadas nos processos de formação de professores, interagindo diretamente com as escolas de educação básica por meio de um trabalho coletivo, articulado entre estas e a universidade (FIRME; GALIAZZI, 2014, p. 148).

As discussões sobre currículo e teorias curriculares são complexas e vastas, integrando o objeto de estudo em múltiplas pesquisas e relatos na literatura (COSTA-BEBER; RITTER; MALDANER, 2015). Obviamente, tais discussões não fazem parte do escopo deste capítulo. Entretanto, diante das nossas proposições curriculares é pertinente alertar que:

a educação deve acompanhar a dinâmica da sociedade, e revisões curriculares periódicas são saudáveis e necessárias. O que não se pode concordar é que mudanças sejam feitas de maneira apressada e sem justificativas sólidas, ou motivadas por interesses outros que não os da maioria da população brasileira, de maneira a apenas desorganizar o sistema educacional (PORTO; QUEIROZ, 2019, p. 319).

Defendemos essa abordagem transversal, sobretudo, porque “as dimensões mais significativas de uma atividade educacional ou de qualquer atividade formativa podem ser aquelas que não foram absolutamente planejadas ou antecipadas” (MOURÃO; GHEDIN, 2019). Nesse sentido, a TPQVS abre um leque de temas que podem ser, transversalmente, abordados ao longo do processo formativo na Química.

A TPQVS também pode permitir a construção de um Quadro Analítico que avalie as contribuições do currículo escolar na formação docente em Química Verde. Por exemplo, Lourenço, Vizotto e Queiroz (2021) desenvolveram uma ferramenta para evidenciar as contribuições gerais dos cursos de formação à prática do professor. Nela, os indicadores abarcam quatro níveis, a saber, aspectos relacionados à aprendizagem, ao comportamento, à reação e aos resultados da formação para os participantes (LOURENÇO; VIZOTTO; QUEIROZ, 2021). De forma mais específica, recurso corolário pode ser implementado para o Ensino da Química Verde, visando evidenciar possíveis contribuições com base em indicadores relacionados, por exemplo, aos modelos de abordagem da QV propostos por Sandri e Santi Filho (2019).

Outra possível contribuição, fomentar discussões da Filosofia da Ciência ou da Filosofia da Educação, a qual pode ser entendida “mais do que uma ferramenta para contextualizar a aula de Química, mas para colocar o professor de Química como sujeito histórico propagador das tradições da Química, legitimado por seu tempo histórico” (SOUSA; SANTOS; GALIAZZI, 2019, p. 411). Com isso, abrem-se caminhos para maior estudo e aprofundamento da Filosofia da Química, que tem suas tradição e linguagem consolidadas. Em outras palavras, isso “contribuiria com outros modos de analisar, compreender e ensinar o conhecimento químico, como é um deles a Hermenêutica” (SOUSA; SANTOS; GALIAZZI, 2019, p. 411).

Como limitações, apontamos que não é possível afirmar que, de fato, se efetuarão melhorias ao se utilizar a TPQVS. Isto porque ela é um recurso em potencial, não sendo possível, simplesmente pela sua análise interpretativa (proposta neste capítulo) fazer tais inferências como verdade absoluta. Assim, é preciso a efetivação

dessas propostas nos cursos de formação para realmente compreender como se configura a TPQVS na realidade escolar. Ademais, é importante destacar o aspecto comunicativo, semiótico e discurso da linguagem humana na TPQVS, como é observável nos projetos pedagógicos. Nesse sentido, esses documentos escritos:

traduzem as perspectivas educacionais, epistemológicas e políticas das pessoas que estruturam o curso, sinalizando, dessa forma, os caminhos de concretização para as ações pensadas e, sendo assim, constituem-se como importante recorte a ser investigado (SILVA; MESQUITA, 2018, p. 51).

De forma limitante e óbvia, ressaltamos também que a TPQVS não é uma solução universal para todos os problemas complexos no Ensino de Química Verde. Há pesquisas que aclaram a complexidade em “ser professor de Química” (MALDANER, 1999; MIRANDA; LISBÔA; REZENDE, 2019). Entretanto, esperamos que a maior divulgação, crítica e contextualizada, e a autêntica aplicação da TPQVS na área educacional inspire novas soluções para esses velhos problemas apontados por Schnetzler (2002). Isto porque é possível proporcionar maior diálogo e aprendizado interdisciplinar da profissionalização, tendo em vista a perspectiva dialética da TPQVS com outras áreas do conhecimento.

Essa visão é crucial, pois, historicamente, inúmeras soluções propostas no Ensino de Química vieram de áreas correlatas, como a Psicologia e a Pedagogia, que, num primeiro momento, não se alinhavam ao “fazer Química” (MALDANER, 1994; 1999). Por exemplo, observa-se o impacto dessas áreas na formulação e implementação de estágios para os licenciados (BROIETTI; STANZANI, 2016). Atualmente, observa-se os profundos impactos trazidos por essa conjugação crítica-social. Imaginemos agora as futuras interações e implicações para o Ensino de Química com um recurso tão criativo e complexo como a TPQVS.

Para que a TPQVS se torne efetivamente significativa e acessível, a sua utilização nos ambientes de ensino precisa ser acompanhada de estratégias epistemológicas e teórico-metodológicas

favoráveis à sua compreensão, estando associada à capacidade dos licenciandos se engajarem com metodologias ativas. Há na literatura abordagens não habituais que engajam os licenciandos em atividades mais ativas, contextualizadas e problematizadoras (ECHEVERRÍA et al., 2006; MONTEIRO; MARTINS, 2010; SILVA, 2011; SILVA et al., 2012; FIRME; GALIAZZI, 2014; FELÍCIO; SOARES, 2018; PINHEIRO; SOARES, 2019; MORI; CUNHA, 2020). É sobre essas possibilidades, a nível de currículo, que versamos ao longo deste capítulo. Esperamos que essa discussão ajude a esclarecer dúvidas sobre esse novo e atual recurso interdisciplinar.

Qualquer que seja a escolha de intervenção usando a TPQVS, destacamos que é preciso conceber “a organização das ações a partir dos problemas vivenciados pelos professores participantes” (SCHNETZLER, 2002, p. 18) e que os licenciandos precisam estar em condição de protagonismo. Como evidenciado ao longo deste texto, a TPQVS não é um modismo ou mais um recurso didático, de tantos disponíveis na literatura. É uma criativa oportunidade que temos de entender a Química Verde para além de seus 12 princípios, evidenciando outras 78 possibilidades, afinal, são 90 elementos figurativos que compõem a TPQVS.

Essa discussão precisa incluir toda a comunidade acadêmica, abrangendo gestores e discentes, antes de sua implementação. O trabalho em equipe torna-se mais proveitoso, principalmente, quando se trata de (re)conhecer e compreender recursos interdisciplinares e inovadores tão novos, complexos e atuais como a TPQVS. Nessa perspectiva colaborativa, Lima (1996) afirma que “o trabalho em grupo alimenta e reafirma a validade de assumir atitudes que se contraponham às tradicionais práticas de ensino baseadas no modelo de transmissão-recepção” (LIMA, 1996, p. 14).

Não se pode privar os educandos dos processos decisórios vinculados a sua formação, pois “é necessário considerar os sujeitos, suas vivências e experiências, suas concepções, sua participação efetiva na elaboração dos projetos de formação” (MOURÃO; GHEDIN, 2019, p. 13). Defendemos que essa participação dos licenciandos na construção dos currículos pode prover oportunidades de autorreflexão nas suas carreiras e, conseqüentemente, identidades

profissionais. Em outras palavras, a ideia de participação discente nesse processo é “contribuir com informações que apontem os aspectos que precisam ser alterados ou aprimorados” (NARDI, 2009, p. 56). Ademais, como destacam Mourão e Ghedin (2019, p. 13):

a seleção e organização das experiências de aprendizagens precisam fazer parte do currículo e isto significa dialogar e interagir com os alunos, futuros professores, e seus ambientes; e questionar se o processo de avaliação deve essencialmente ser o processo de determinar até que ponto os objetivos educacionais estão sendo realmente alcançados pelo programa de currículo e ensino ou se estão lá para atender uma demanda do sistema e dar respostas à avaliações externas, que pouco intervém nas aprendizagens dos futuros professores. Em outras palavras, verificar se os enunciados dos objetivos, atividades e avaliação não estão servindo para se estabelecer um padrão, segundo o qual, o programa é conceituado pelos órgãos de fomento e instituições que aplicam avaliações de larga escala (MOURÃO; GHEDIN, 2019, p. 13).

Nessa perspectiva, como “o novo sempre assume uma forma assustadora à natureza humana” (LIMA, 1996, p. 14), esperamos ter contribuído na elucidação, mesmo que de forma introdutória, aos questionamentos do que, como e por que ensinar a TPQVS na perspectiva da formação de professores de Química.

Considerações finais

No atual quadro educacional, as propostas curriculares na formação de professores de Química precisam de maiores intervenções sob a perspectiva da Química Verde, sejam no âmbito da curricularização, da transversalidade ou de ambas. O Brasil precisa superar a visão dominante de um ensino que é propedêutico (FERNANDEZ, 2018). É chegado o tempo de propor alternativas que busquem

maior engajamento nas questões ambientais, sociais e políticas, alicerçadas no ensino autorreflexivo, crítico e emancipatório.

Nessa perspectiva, acreditamos que se faz necessária a utilização de nossos recursos pelos quais o Ensino da Química Verde se aperfeiçoe. Assim, apresentamos, de forma introdutória, a Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável (TPQVS), que é um novo, criativo e atual recurso didático-interdisciplinar. Dessa forma, consideramos ter contribuído para uma maior expansão da Química Verde nos cursos de formação inicial e continuada, fornecendo subsídios que viabilizem reflexões e futuras ações utilizando a TPQVS no campo da Educação Química.

Dentre outras abordagens, a TPQVS pode ser compreendida como uma forma de popularizar a Química Verde, bem como potencializar, efetiva e reflexivamente, aspectos cruciais de aprendizagem na Educação Química, tendo como fundamento, por exemplo, o binômio professor-pesquisador. A TPQVS pode também contribuir ou interferir nas abordagens e nos objetivos educacionais na área de Química Verde, ampliando propostas no tripé ensino-pesquisa-extensão, superando as práticas na visão da racionalidade técnica e levando à vasta gama de aplicações atemporais dependendo do público.

Nesse sentido, atrevemo-nos a dizer que profissionais da educação empenhados em desenvolver as suas atividades, didáticas e/ou paradidáticas, sob o viés da Química Verde, não nascem prontos. Entretanto, eles são formados continuamente ao longo de suas carreiras, não podendo ser meramente “produzidos” por um diploma acadêmico ou um curso de formação. Professores comprometidos no ensino de Química Verde são moldados pela imersão em práticas que direcionem, de forma contínua e progressiva, as suas atividades e os seus saberes nessa perspectiva ambientalmente benigna.

A palavra final sobre a TPQVS é que ainda existem muitas possibilidades de intervenção a serem descobertas e desenvolvidas. Esperamos que esse capítulo possa oferecer subsídios para profissionais/pesquisadores que desenvolvam projetos ou pesqui-

sas, em todos os níveis de ensino e com compromisso social, para melhorar o processo de formação docente no Brasil, com contribuições educacionais significativas e sob a perspectiva epistêmica da Química Verde.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, #001), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, #305447/2019-0) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Bioanalítica (INCTBio, #2014/50867-3 FAPESP).

Referências

ALMEIDA, Q. A. R. et al. Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 15, n. 34, p. 178-187, 2019.

ALMEIDA, S.; SOARES, M. H. F. B.; MESQUITA, N. A. S. Proposta de Formação de Professores de Química por meio de uma Licenciatura Parcelada: Possibilidade de Melhoria da Prática Pedagógica versus Formação Aligeirada. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 3, p. 136-146, 2012.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: Theory and Practice**. 1ª ed. Oxford University Press, 2000.

ANASTAS, P. T.; ZIMMERMAN, J. B. The Periodic Table of the Elements of Green and Sustainable Chemistry. **Green Chemistry**, v. 21, n. 24, p. 6545-6566, 2019.

AUBRECHT, K. B. et al. Integrating Green Chemistry in the Curriculum: Building Student Skills in Systems Thinking, Safety, and Sustainability. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 2872-2880, 2019.

BEGO, A. M.; OLIVEIRA, R. C.; CORRÊA, R. G. O papel da Prática como Componente Curricular na Formação Inicial de Professores de Química: possibilidades de inovação didático-pedagógica. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 3, p. 250-260, 2017.

BENITE, C. R. M.; BENITE, A. M. C.; ECHEVERRIA, A. R. A Pesquisa na Formação de Formadores de Professores: Em Foco, a Educação Química. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 4, p. 257-266, 2010.

BEYOND BENIGN, Teaching Green Chemistry to Deaf Students in Brazil – A Pioneer Case Study, 2022. Disponível em: <https://www.beyondbenign.org/news/teaching-green-chemistry-to-deaf-students-in-brazil-a-pioneer-case-study/> Acesso em: 22/03/2023.

BOGATSCHOV, D. N.; FERREIRA, G. M.; MOREIRA, J. A. S. BNC-Formação políticas para formação de professores no Brasil e a interlocução com as diretrizes da OCDE, **Revista e-Curriculum**, v. 20, n.3, p. 1335-1358, 2022.

BRASIL. Lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, 1996.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências Matemáticas e da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, v. 3, 1999.

BRASIL. Resolução CNE/CP, de 18 de fevereiro de 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. Brasília, 2002.

BRASIL. Resolução CNE/CP, de 20 de dezembro de 2019. Institui a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação). Brasília, 2019.

BRASIL. Temas Contemporâneos Transversais na BNCC. 2019. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/contextualizacao_temas_contemporaneos.pdf. Acesso em: 06/07/2023.

BROIETTI, F. C. D.; STANZANI, E. L. Os estágios e a formação inicial de professores: experiências e reflexões no curso de Licenciatura em Química da UEL. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 3, p. 306-317, 2016.

BURMEISTER, M. et al. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, n. 2, p. 59-68, 2012.

COSTA-BEBER, L. B.; RITTER, J.; MALDANER, O. A. O Mundo da Vida e o Mundo da Escola: Aproximações com o Princípio da Contextualização na Organização Curricular da Educação Básica. **Química Nova na Escola**, v. 37, nº especial 1, p. 11-18, 2015.

DA SILVA JÚNIOR, C. A.; JESUS, D. P.; GIROTTI JÚNIOR, G. (2022). Química Verde e a Tabela Periódica de Anastas e Zimmerman: Tradução e Alinhamentos com o Desenvolvimento Sustentável. **Química Nova**, v. 45, n. 8, p. 1010-1019, 2022.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 5ª ed. Cortez, 2021.

ECHEVERRÍA, A. R. et al. A Pesquisa na Formação Inicial de Professores de Química: Abordando o Tema Drogas no Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, n. 24, p. 25-29, 2006.

EILKS, I.; LINKWITZ, M. Greening the chemistry curriculum as a contribution to education for sustainable development: When and how to start? **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 37, 100662, 2022.

FELÍCIO, C. M.; SOARES, M. H. F. B. Da Intencionalidade à Responsabilidade Lúdica: Novos Termos para uma Reflexão Sobre o Uso de Jogos no Ensino de Química, **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 3, p.160-168, 2018.

FERNANDEZ, C. Formação de professores de Química no Brasil e no mundo. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 205-224, 2018.

FERRARINI, F. O. C.; BEGO, A. M. Categorias analíticas para a caracterização de ideias prévias de professores sobre o planejamento de ensino: contribuições para a formação de professores de Química críticos e autônomos. **Química Nova na Escola**, v. 42, n. 1, p. 88-104, 2020.

FERREIRO, C. R.; ARROIO, A. Visualizações no Ensino de Química: Concepções de Professores em Formação Inicial. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 3, p. 199-208, 2013.

FIRME, M. V. F.; GALIAZZI, M. C. A Aula Experimental Registrada em Portfólios Coletivos: A Formação Potencializada pela Integração entre Licenciandos e Professores da Escola Básica. **Química Nova na Escola**, v. 36, n. 2, p. 144-149, 2014.

GAUCHE, R. et al. Formação de Professores de Química: Concepções e Proposições. **Química Nova na Escola**, n. 27, p. 26-29, 2008.

GONZAGA, G. R.; PAIVA, D. C.; EICHLER, M. L. Desafios e Perspectivas atuais na Formação do Professor de Química: Expectativas sobre o Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI). **Química Nova**, v. 43, n. 4, p. 493-505, 2020.

GOMES, L. S. et al. Panorama da Inclusão dos conceitos de Química Verde nas Licenciaturas em Química dos Institutos Federais. **Ambiente & Educação**, v. 27, n. 1, p. 1-24, 2022.

HEIDELMANN, S. P.; PINHO, G. S. A.; LIMA, M. C. P. Caminhos e descaminhos da formação docente: uma análise dos projetos pedagógicos de cursos de Licenciatura em Química no Rio de Janeiro. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 3, p. 261-267, 2017a.

HEIDELMANN, S. P.; PINHO, G. S. A.; LIMA, M. C. P. O professor formador em foco: identidade e concepções do fazer docente. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 4, p. 356-367, 2017b.

IYPT - The International Year of the Periodic Table, 2019 Disponível em: <https://www.iypt2019.org/> Acesso em: 19/03/2023.

JACOB, R. J. et al. Educação Ambiental nos cursos de Química da UFPel através da Química Verde através da Química Verde. **Química Nova na Escola**, v. 44, n. 2, p. 173-182, 2022.

KASSEBOEHMER, A. C.; FARIAS, S. A. Conteúdos das disciplinas de interface atribuídos a prática como componente curricular em cursos de licenciatura em Química. **Alexandria**, v. 5, n. 2, p. 95-123, 2012.

LIMA, M. E. C. C. Formação Continuada de Professores de Química. **Química Nova na Escola**, n. 2, p. 12-17, 1996.

LÔBO, S. F.; MORADILLO, E. F. Epistemologia e a Formação Docente em Química. **Química Nova na Escola**, n. 17, p. 39-41, 2003.

LOURENÇO, A. B.; VIZOTTO, M. B.; QUEIROZ, S. L. Contribuições à Formação de Professores de Química para Atuação em Espaço de Educação não Formal: Quadro Analítico como Facilitador Da Avaliação. **Química Nova**, v. 44, n. 10, p. 1369-1378, 2021.

MALDANER, O. A. A formação de grupos de professores-pesquisadores como fator de melhoria da qualidade educacional no ensino médio e fundamental. **VII Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino**, 1994.

MALDANER, O. A. A Pesquisa como Perspectiva de Formação Continuada do Professor de Química. **Química Nova**, v. 22, n. 2, p. 289-292, 1999.

MARCOLAN, S. G.; MALDANER, O. A. Espaços de Formação Continuada de Professores em Escolas Pequenas e Isoladas: Uma Lacuna a Ser Preenchida. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 3, p. 214-223, 2015.

MEADOWS, D. H. **Pensando em sistemas**. 1ª ed. Sextante, 2022.

MESQUITA, N. A. S.; SOARES, M. H. F. B. Diretrizes para a Formação de Professores da Educação Básica em Interface com a Licenciatura em Química: em Contexto as Possibilidades Formativas, **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 1072-1077, 2014.

MIRANDA, C. L.; LISBÔA, J. C. F.; REZENDE, D. B. Ser ou Não Ser Professor: Duas Faces de Uma Graduação em Química. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 4, p. 377-385, 2019.

MONTEIRO, B. A. P.; MARTINS, I. G. R. O Portal Eletrônico Interativo: Contexto, Estrutura, Possibilidades de Navegação e Discursos sobre Formação de Professores de Química. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 4, p. 249-256, 2010.

MORI, L.; CUNHA, M. B. Problematização: possibilidades para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 42, n. 2, p. 176-185, 2020.

MOURÃO, I. C.; GHEDIN, E. Formação do professor de química no Brasil: a lógica curricular. **Educação em Perspectiva**, v. 10, p. 1-16, 2019.

NARDI, R. **Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores**. 1ª ed. Editora UNESP, 2009.

PINHEIRO, R. S. G.; SOARES, M. H. F. B. O Jornal da Química como Etapa Inicial de Abordagem Problematizadora: Proposta para Ensino e Formação de Professores. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 2, p. 139-147, 2019.

PORTO, P. A.; QUEIROZ, S. L. Profissão: Professor. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 4, p. 311, 2017.

PORTO, P. A.; QUEIROZ, S. L. Novas Diretrizes, velhos problemas. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 4, p. 319, 2019.

PORTO, P. A.; QUEIROZ, S. L. Enxergando além das aparências. **Química Nova na Escola**, v. 44, n. 3, p. 275-276, 2022.

REBELO, I. S.; MARTINS, I. P.; PEDROSA, M. A. Formação Contínua de Professores para uma Orientação CTS do Ensino de Química: Um Estudo de Caso. **Química Nova na Escola**, n. 27, p. 30-33, 2008.

ROSA, M. I. F. P. S.; QUINTINO, T. C. A.; ROSA, D. S. Possibilidades de Investigação-Ação em um Programa de Formação Continuada de Professores de Química. **Química Nova na Escola**, n. 14, p. 36-39, 2001.

SANDRI, M. C. M.; SANTIN FILHO, O. Os Modelos de Abordagem da Química Verde no Ensino de Química. **Educación Química**, v. 30, n. 4, p.34-46, 2019.

SANTOS, D. R. C. M; LIMA, P. L.; GIROTTO JÚNIOR, G.A Formação de Professores de Química, Mudanças na Regulamentação e os Impactos na Estrutura em Cursos de Licenciatura em Química. **Química Nova**, v. 43, n. 7, p. 977-986, 2020.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco; ARAGÃO, Rosália Maria Ribeiro. Importância, Sentido e Contribuições de Pesquisas para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 1, p. 27-31, 1995.

SCHNETZLER, R. P. Concepções e Alertas sobre Formação Continuada de Professores de Química. **Química Nova na Escola**, v. 16, p. 15-20, 2002.

SILVA, P. J.; GUIMARÃES, O. M. Concepções da Prática como Componente Curricular nos Cursos de Licenciatura em Química dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 565-594, 2019.

SILVA, C. S. Poesia de Antônio Gedeão e a Formação de Professores de Química. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 2, p. 77-84, 2011.

SILVA, K. M. O.; MESQUITA, N. A. S. Práxis e Identidade Docente: Entrelaces no Contexto da Formação pela Pesquisa na Licenciatura em Química. **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 1, p. 44-52, 2018.

SILVA, C. S. et al., O Saber Experiencial na Formação Inicial de Professores a Partir das Atividades de Iniciação à Docência no Subprojeto de Química do PIBID da Unesp de Araraquara, **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 4, p. 184-188, 2012.

SOUSA, R. S.; SANTOS, A. R.; GALIAZZI, M. C. A Filosofia na Formação de Professores de Química em Minas Gerais: O que se Mostra nos Componentes Curriculares de Licenciaturas em Química? **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 4, p. 399-413, 2019.

SOUZA, N. S. et al. Inclusive Teaching in Organic Chemistry: A Visual Approach in the Time of COVID-19 for Deaf Students. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 10, n. 1, p. 290-306, 2022.

TARDIF, M. **Saberes Docentes e Formação Profissional**, 17^a ed. Vozes, 2014.

TUNDO, P. et al. Synthetic pathways and processes in green chemistry: Introductory overview. **Pure and Applied Chemistry**, n. 72, v.7, p. 1207-1228, 2000.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento sistêmico: o novo paradigma da ciência**. 11^a ed. Papirus, 2019.

VELOZO, M. C. S. et al. Creation and Validation of Bilingual Educational Videos about Environmental Education, Green Chemistry and Sustainable Development Goals for Deaf People in Brazil. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 11, n. 1, p. 46-62, 2023.

ZEIDLER, V. G. Z.; MELLO, P. H. Futuro do Pretérito na Celebração do Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável da UNESCO: Reflexões a partir do Ensino de Química, Educação Química, Sustentabilidade e a Semana de Arte Moderna no Brasil. **Química Nova na Escola**, v. 44, n. 2, p. 103-104, 2022.

ZOWADA, C.; NIEBERT, K.; EILKS, I. Perspectives on education for sustainability in chemistry teaching. **Química Nova na Escola**, v. 44, n. 2, p. 222-228, 2022.

O Ambiente Temático Virtual de Química Verde para o Ensino da Química

Patricia Link Rüntzel
Carlos Alberto Marques

Introdução

É cada vez mais urgente a necessidade da inserção efetiva de questões ambientais nos estudos, na formação de pessoas e nas pesquisas realizadas em instituições de ensino brasileiras. Entretanto, uma educação crítica e comprometida com o bem-estar das pessoas e o futuro socioambiental do planeta, necessita definir de que forma, e quais os meios necessários, para atingir tais propósitos, especialmente nos processos que envolvem a formação de estudantes.

Todavia, ao se pensar e agir nas questões e na problemática ambiental, um conjunto de variáveis¹ devem ser consideradas, por isso é necessário problematizá-las previamente. Por exemplo, nesse campo historicamente permeia a visão instrumental² que compreende tanto a educação científica e tecnológica como a educação ambiental muito mais enquanto reparadora do que preventiva dos danos ambientais. Portanto, as discussões sobre as visões e práticas humanas relacionadas à natureza é algo imprescindível para a manutenção da existência humana na Terra, de modo que é necessário considerar tanto as diferentes representações sociais³, sobre o pró-

1. Por exemplo, a questão dos valores que permeiam o debate sobre as questões ambientais, o maior ou menor grau de alinhamento, desse debate, ao modelo econômico vigente, a responsabilização e o papel de cada país no que tange as questões referentes a poluição e degradação ambiental, a exploração ambiental de determinados grupos sobre outros, os movimentos sociais e as lutas ambientais, entre outros.

2. Uma outra perspectiva sobre visão instrumental de educação ambiental pode ser encontrada em Loureiro (2012, p.76).

3. Vide Reigota (2010).

prio conceito de meio ambiente, quanto o postulado termodinâmico, de que vivemos num planeta finito.

Nessa direção, ao se problematizar a dinâmica de produção e de consumo em larga escala, na sociedade capitalista contemporânea, é muito importante o desenvolvimento de práticas educativas que abordem a questão ambiental. Superar a visão da econômica clássica⁴, introduzindo a problemática da geração e do tratamento de resíduos, é também tarefa dos químicos. É nesse contexto que emerge a Química Verde (QV)⁵ e mais recentemente as discussões e propostas relativas ao seu ensino⁶, muitas destas na perspectiva do desenvolvimento sustentável (DS) e da sustentabilidade.

A produção de resíduos na sociedade é a cada dia mais presente e em volume maior nos mais diversos espaços e localidades do planeta Terra e da atmosfera. O setor industrial é um dos responsáveis por produzir grandes quantidades de resíduos que são “jogados” diretamente no meio ambiente. Nesse contexto, de sociedade industrial e de hiperconsumo, a QV ganha destaque, dado que, um dos fundamentos da QV, está alicerçado na visão de que é mais válido evitar a geração de resíduos do que tratá-los após sua geração e caso haja essa geração, estes resíduos sejam inócuos (MACHADO, 2004, 2014).

É importante salientar que, em nossa visão, às discussões ambientais, especialmente no ensino de ciências/química e na formação de professores, devem ultrapassar as dimensões conceituais

4. O pensamento econômico clássico, conforme aponta Georgescu-Roegen (2012, p.33), não pode continuar embasado no dogma mecanicista oriundo da física, que torna o processo econômico “um diagrama circular que encerra o movimento de vai e vem entre a produção e o consumo num sistema totalmente fechado”.

5. A QV emerge como um campo de pesquisa acadêmica e de novas práticas industriais cujos princípios voltam-se à prevenção da poluição, baseada principalmente no design molecular (ANASTAS; WARNER, 1998).

Muito se tem escrito sobre a mesma, podendo ser seguida na IUPAC- International Union of Pure and Applied Chemistry (<https://iupac.org/systems-thinking-and-green-and-sustainablechemistry/>) e no Green Chemistry Journal (<https://www.rsc.org/journals-books-databases/about-journals/green-chemistry/>).

Uma visão sobre seus 25 anos pode ser vista em Marques e Machado (2021).

Sobre as contribuições da Química para o alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável ver Matlin et al. (2015).

6. Sobre o ensino da QV recomenda-se a leitura de Marques et al. (2007); Zuin e Mammino (2015); Zuin e Marques (2015).

biológicas, químicas e físicas. Isso implica que devem considerar e envolver, impreterivelmente, as questões e implicações sociais, políticas, econômicas e históricas da ciência, da tecnologia e do ambiente, portanto, numa perspectiva crítica e humanística de educação (SJÖSTRÖM; TALANQUER, 2014).

Foi com essas premissas e fundamentos que o Ambiente Temático Virtual de Química Verde (ATV-QV) foi organizado. Ele foi também estruturado como um laboratório virtual de ensino, que busca ser uma ferramenta pedagógica para auxiliar a formação de professores e de alunos do ensino médio e das fases iniciais da graduação em Química, considerando diferentes campos do conhecimento, além de conceitos químicos e princípios da QV. Além disso, o ATV-QV, entre outros aspectos, objetiva contribuir para a problematização da produção de resíduos nas práticas produtivas industriais, nas práticas de laboratórios, além de, considerar as possibilidades de mitigação da degradação ambiental. A sua construção e seu desenvolvimento justificam-se também pela relativa ausência de material disponível como fonte na literatura, principalmente no que concerne as atividades práticas (SOUZA et al., 2020).

Considerando isso, especialmente de que algumas atividades práticas podem ser desenvolvidas em laboratórios virtuais, servindo de exemplo as simulações de síntese químicas. Chaves e Setzer (1988) compreendem que:

A simulação, por exemplo, de um laboratório de química pode adicionar uma série de perspectivas ao trabalho pedagógico, reduzindo, ao mesmo tempo, o custo e a periculosidade, pois permite estudar, com razoável realismo, eventos e processos que, devido ao seu custo elevado ou alto grau de periculosidade, ou ainda a outras razões, normalmente não estão ao alcance da investigação e do conhecimento da maior parte das crianças (p.46-47).

O elemento basilar da simulação de reações de síntese química, propostas no ATV-QV, é a Estrela Verde (EV) – que será mais bem descrita no decorrer desse texto. A EV tem uma natureza gráfica

que engloba os 12 princípios da QV⁷ (ANASTAS; WARNER, 1998), sendo desenvolvida para avaliar a verdura química das atividades experimentais em laboratórios de ensino (RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010; RIBEIRO; YUNES; MACHADO, 2014). A partir da EV é possível “escolher” as reações mais “verdes”, identificando as modificações necessárias nos roteiros experimentais (RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010), dado que as alterações nos parâmetros de uma experiência química afetam ou alteram as relações com os 12 princípios da QV, visando melhorar o grau de verdura química de determinado processo de síntese em estudo (RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010; RIBEIRO; YUNES; MACHADO, 2014). Assim, a representação gráfica da EV permite a análise visual do cumprimento de cada princípio da QV, logo, quanto mais verde for o gráfico, maior o grau de verdura química (RIBEIRO; YUNES; MACHADO, 2014).

Assim, para melhor compreender os fundamentos, a estrutura e uso do ATV-QV, apresenta-se a organização deste capítulo. Na próxima seção, aborda-se brevemente a história da QV juntamente dos conceitos de métricas holísticas e verdura química, tendo em vista a importância destes para a compreensão de estudos envolvendo a QV. A terceira seção é referente a relevante temática da “Tecnologia e as Mídias Digitais na Educação” e, por fim, na quarta seção se apresenta e discute o ATV-QV.

Química verde, métricas e verdura química

Em 1962, a publicação do livro Primavera Silenciosa (em inglês, *Silent Spring*) de Rachel Carson (2010), chama a atenção da sociedade ao problema do uso (indiscriminado) de pesticidas agri-

7. Em resumo: 1- Prevenção de resíduos. 2 - Economia atômica. 3 - Sínteses menos perigosas. 4 - Planificação a nível molecular de produtos mais seguros. 5 - Uso de solventes e de substâncias auxiliares seguros. 6 - Busca de eficiência energética. 7- Uso de fontes de matérias-primas renováveis. 8 - Evitar a formação de derivados. 9 - Preferência por reagentes catalíticos. 10 - Planificação para a degradação. 11- Análise em tempo real para a prevenção da poluição. 12 - Química inerentemente mais segura (MACHADO, 2014).

colas de longa ação residual, no caso, do diclorodifeniltricloroetano (DDT), muito nocivo ao meio ambiente e à saúde humana. Naquele período, segundo Lear (2010) – biógrafa da autora – a indústria Química e o governo americano combateram duramente a obra, especialmente porque conflitava com interesses econômicos de grandes agricultores. Mas o livro foi também um alerta para o público em geral e, particularmente para os cientistas sobre os riscos existentes no uso intensivo e indiscriminado de produtos químicos. Seus alertas e denúncias inspiraram, no contexto americano e mundial, o movimento ambientalista moderno (ACS, 2023; SOUZA, 2016).

As denúncias de Carson também “inspiraram” o congresso dos EUA a aprovar, em 1990, a Lei de Prevenção da Poluição (*Pollution Prevention*) (FARIAS; FÁVARO, 2011) com metas econômicas e várias regras ambientais muito mais rigorosas. A criação dessa lei significou uma profunda mudança de paradigma de gestão ambiental (MACHADO, 2011). “Foi a primeira e única lei focada na prevenção da poluição ao invés do típico tratamento e remediação” (FARIAS; FÁVARO, 2011, p.1090). Na época, Kenneth G. Hancock, diretor de química da *National Science Foundation* (NSF), defendeu publicamente essa abordagem como uma estratégia economicamente viável e em respeito ao meio ambiente. Foi nessa época que diversos químicos, de diferentes regiões do mundo, concordaram que isso poderia reverter a tendência industrial de deterioração ambiental (ACS, 2023). De acordo com Linthorst (2009), havia um interesse compartilhado entre a Agência de Proteção Ambiental americana (EPA, *Environmental Protection Agency*) e as indústrias Químicas em cooperar para atingir objetivos econômicos com alguma salvaguarda ambiental.

Em 1991, após publicação dessa Lei de Prevenção da Poluição, a EPA, por meio do Instituto de Prevenção à Poluição e Tóxicos (OPPT) lançou o programa Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição (FARIAS; FÁVARO, 2011), “[...] uma linha de financiamento para projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção da poluição em suas sínteses, ou seja, fabricar produtos por meio de processos ambientalmente corretos” (FARIAS; FÁVARO, 2011, p.1090). Foi pouco tempo depois, em 1995, que o governo dos

EUA instituiu o programa *The Presidential Green Chemistry Challenge*, “[...] com o objetivo de premiar indivíduos e empresas que buscassem inovações tecnológicas a serem implementadas na indústria para a redução da produção de resíduos na fonte, em diferentes setores da produção” (idem, 2011, p.1090).

Assim, em 1997, foi criado o Instituto de Química Verde (*Green Chemistry Institute* - GCI), que passou a atuar em parceria com a Sociedade Americana de Química (*American Chemical Society* - ACS) (LENARDÃO et al., 2003). Um dos principais objetivos dessa cooperação é estabelecer a QV como uma prioridade nacional de pesquisa, alinhando os interesses dos formuladores de políticas, líderes empresariais e comunidades científicas em novas iniciativas. Dele fazem parte a indústria, a academia, o governo e as organizações não-governamentais, representando diversas instituições relacionadas à indústria Química (HJERSEN; SCHUTT; BOESE, 2000).

Em setembro de 1997, a União Internacional de Química Pura e Aplicada (*International Union for Pure and Applied Chemistry* - IUPAC) organizou sua Primeira Conferência Internacional em Química Verde em Veneza. Em 2001, aprovou a criação do Sub-Comitê Interdivisional de Química Verde e também realizou o Workshop sobre Educação em “*Green Chemistry*” da IUPAC (LENARDÃO et al., 2003).

Foram esses eventos históricos que ajudaram a demarcar a emergência daquilo que hoje conhecemos por QV (inclusive alguns a denominam como Química Verde e Sustentável), ou seja, um campo de pesquisas que vem oferecendo alternativas de processos e produtos ambientalmente mais seguros, com a eliminação ou a redução de resíduos, por conseguinte, que buscam a mitigação da poluição associada à Química (MACHADO, 2004). Segundo seus principais precursores, Anastas e Warner (1998), a QV almeja o desenho, o desenvolvimento de processos e produtos químicos que reduzem ou eliminam os riscos à saúde e ao meio ambiente. Mas esse escopo e compromisso exigem uma mudança de paradigma no conceito tradicional de eficiência de processo, que até então se concentra exclusivamente no rendimento químico, para outro con-

ceito que atribui valor econômico a eliminação de resíduos (SHELDON, 2000).

Os 12 princípios da QV, “introduzidos por Anastas e Warner e amplamente divulgados [...] têm servido para a conscientização dos químicos sobre variados aspectos da Química que requerem revisão com vista a reduzir os seus impactos negativos sobre a saúde humana e ecológica” (MACHADO, 2012, p.1250). Tais princípios prescrevem a eliminação ou redução do uso e fabricação de substâncias perigosas. Nesse sentido, a QV contribui para a segurança química, já que seu objetivo consiste em buscar eliminar os impactos nocivos da prática da química sobre o ambiente (MACHADO, 2018). Cortês Jr. (2013), destaca que:

Os princípios da Química Verde estão diretamente relacionados à atividade do profissional da química, seja em laboratório ou na indústria, e podem ser estruturados no tripé: 1) o uso de fontes renováveis ou recicladas de matéria-prima; 2) aumento da eficiência de energia, ou a utilização de menos energia para produzir a mesma ou maior quantidade de produto e 3) evitar o uso de substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas (CORTÊS Jr. 2013, p. 60).

Se por um lado os 12 princípios da QV servem para orientar as “novas” práticas químicas com o objetivo da salvaguarda ambiental, sua eficácia e eficiência não são de fácil alcance e verificáveis (metrificáveis) (MACHADO, 2014; MARQUES; MACHADO, 2014, 2021), pois se relacionam à avaliação de processos mais “verdes”. Conforme Machado (2014, p.37), a “métrica é um sistema de avaliação do funcionamento de um sistema dinâmico complexo que permita aferir o modo como ele opera, especificamente quanto ao cumprimento dos respectivos objetivos, isto é, um sistema de medição da performance do sistema”. Verifica-se que a métrica é um sistema de avaliação da eficiência (medidas de performance) dos sistemas de produção, em seus múltiplos âmbitos, no uso das matérias-primas (entradas) nos processos em que se realiza a sua trans-

formação nos produtos (saídas), qualidade dos produtos, tempo e custo de produção, dentre outros aspectos (MACHADO, 2014).

As métricas também devem ser aplicadas para avaliação dos efeitos e impactos dos processos industriais sobre o meio ambiente (MACHADO, 2007). Segundo Duarte (2016), “as métricas aplicadas a nível industrial avaliam uma maior quantidade de parâmetros e, por isso, revelam-se mais complexas, enquanto as métricas aplicadas a nível laboratorial se apresentam mais simples” (p.9). Nos últimos anos, várias métricas foram propostas para conscientizar os químicos da necessidade de alterar os métodos usados para sínteses e processos químicos (CONSTABLE; CURZONS; CUNNINGHAM, 2002).

Segundo Machado (2014), a busca por processos mais eficientes e benignos, fez emergir o conceito de verdura química e “[...] com isso a necessidade de avaliar, tão quantitativamente quanto possível, a benignidade (ou a sua falta!) de reações e vias de síntese, processos químico-industriais, etc.” (p.231), destacando ainda que há a:

[...] necessidade de avaliar a verdura química para comprovar o seu aumento quando, nas diferentes áreas de atividade da Química, desde a síntese laboratorial até a manufatura industrial de produtos químicos, se fazem esforços de natureza variada para diminuir os respectivos impactos negativos sobre o meio ambiente, a biosfera e a saúde humana (MACHADO, 2014, p.17).

O conceito de verdura química, como diferencial para práticas químicas não poluentes, permite avaliar e facilitar a escolha para processos mais limpos e benignos em relação ao meio ambiente. Por meio de uma série de parâmetros, como a massa dos componentes de uma síntese química, é possível quantificar, ao menos parcialmente, o impacto ambiental de um processo químico desenvolvido no laboratório ou na indústria (CALVO-FLORES, 2009). Machado (2014) define a verdura química como aquela em que a preparação de um produto químico ou reação engloba os seguintes objetivos:

1) seja intrinsecamente benigno (tenha benignidade embutida) – não tenha efeitos nocivos para os humanos, a biosfera e o ambiente; 2) não dê origem a resíduos, particularmente se tóxicos e perigosos; 3) seja preparado por reações suaves, seguras e que não consumam energia; 4) seja obtido com reagentes preparados a partir de matérias-primas renováveis, etc. (MACHADO, 2014, p.51).

Para esse pesquisador, os químicos reconhecem que esses fatores definem um conjunto de condições ideais de preparação das substâncias químicas. Nesse sentido, a verdura química raramente pode ser atingida por completo e funciona como um propósito a ser seguido no desenvolvimento de um processo químico com menos impacto ao meio ambiente (MACHADO, 2014).

Em suma, aferir a verdura química de um produto químico, reação ou processo implica no uso de métricas quantitativas multivariadas (DUARTE; RIBEIRO, MACHADO, 2019; MACHADO, 2014) e as métricas de QV fornecem um meio de avaliar os impactos da fabricação, uso e eliminação dos produtos químicos, isto é, da sua benignidade intrínseca.

Além de transcorrer sobre o nascimento e o desenvolvimento da QV, esta seção almejou também elucidar, sem a pretensão de esgotar o assunto, os conceitos de métrica e verdura química, dado que esses conceitos constituem o corpo teórico no qual a QV está alicerçada. O que aqui expusemos e argumentamos como útil ao desenvolvimento da QV, melhor será compreendido na seção 4, com a descrição do ATV-QV. Por se tratar de um recurso tecnológico, inserido em uma mídia digital, mostra-se adequado considerar algumas reflexões sobre as relações da tecnologia e das mídias digitais na educação, discutindo potencialidades e eventuais limitações que as simulações possuem enquanto ferramentas pedagógicas. Aspectos que abordaremos na próxima seção.

Tecnologia e as mídias digitais na educação

O modo de vida das sociedades contemporâneas reflete, em grande parte, a cultura do consumismo, a qual influencia comportamentos e molda valores. Associado ao consumismo está o aumento da produção de resíduos, como por exemplo, os industriais, urbanos e os tecnológico-eletrônicos. O caráter paradoxal da tecnologia que acelera a diversificação e escala de produtos que alimentam tal cultura, nos instiga a refletir sobre a miríade de consequências, ao meio ambiente, provenientes de comportamentos fortemente impulsionados pela propaganda via mídias digitais.

De acordo com Bortolazzo (2016), as tecnologias “[...] já não podem ser analisadas apenas enquanto ferramentas, mas como participantes ativas em nossa cultura” (p.13). Nessa direção, é possível considerar as mídias⁸ enquanto intermediárias e depositárias da cultura e das relações humanas, constituindo-se em:

[...] um elemento essencial dos processos de produção, reprodução e transmissão da cultura, pois as mídias fazem parte da cultura contemporânea e nela desempenham papéis cada vez mais importantes, sua apropriação crítica e criativa, sendo, pois, imprescindível para o exercício da cidadania (BÉVORT; BELLONI, 2009, p.1083).

Além das funções de controle social, como o político e ideológico, as mídias também atuam como dispositivos técnicos que podem mudar os modos de perceber e fazer-nos atuar com e na realidade. Nesse sentido, é extremamente importante, através das mídias, saber consumir e produzir informações de maneira crítica (BÉVORT; BELLONI, 2009). É importante se considerar que o processo de integração das mídias aos meios educacionais e comunicacionais ocorreu de diferentes maneiras (BÉVORT; BELLONI, 2009).

8. A expressão mídia digital, “[...] leva em consideração um meio específico, o digital, e suas implicações em função do registro, da produção, do armazenamento, do consumo e da distribuição de informações” (BORTOLAZZO, 2016, p.4).

Em relação aos processos comunicacionais, as mídias se apropriam imediatamente das novas tecnologias as utilizando numa lógica de mercado (BÉVORT; BELLONI, 2009). Já nos processos educacionais, essa integração ocorre de forma mais gradativa. “[...] Características estruturais e institucionais dificultam mudanças e inovações pedagógicas e organizacionais, que a integração de novos dispositivos técnicos acarreta” (BÉVORT; BELLONI, 2009, p.1084).

Assim, num contexto, mesmo que limitado, de expansão de acesso a internet, é importante considerar a inserção e a familiarização dos jovens com as mídias digitais e como esse processo influencia nas diversas esferas de suas vidas, incluindo a construção de sua cultura, de sua sociabilidade e também a esfera educativa (BÉVORT; BELLONI, 2009).

Ao levar em conta as potencialidades que as mídias digitais possuem para conformar a percepção social dos sujeitos sobre o mundo, ao construirmos e disponibilizarmos o ATV-QV ao ensino da Química numa perspectiva da sustentabilidade, intencionalmente o usamos enquanto ferramenta pedagógica de um potencial educativo e elucidativo sobre o debate ambiental. Todavia, tendo em vista que o ATV-QV possui sua estrutura baseada em simulações de sínteses químicas, sendo este o elemento central deste ambiente, mostra-se pertinente considerar as potencialidades e limitações no uso desta ferramenta enquanto recurso didático computacional.

Potencialidades e limitações do uso de simulações no ensino de química

As justificativas para a introdução dos computadores na educação são diversas (OLIVEIRA, 2012). No âmbito do ensino de Química, a utilização de computadores pode contribuir para atenuar uma visão negativa que o estudante possui da química. Além disso, o uso do computador como recurso didático pode viabilizar a realização de experiências químicas sem os riscos de exposição física (CATALDI; DONNAMARÍA; LAGE, 2008).

Simulações pelo microcomputador podem ser usadas na sala de aula a serviço de uma série de objetivos educacionais, como domínio de habilidades, aprendizagem de conteúdos, desenvolvimento de conceitos, promoção de investigação, aumento de motivação, etc (CHAVES; SETZER, 1988, p. 46).

Considerando os argumentos desses autores, é possível evidenciar a existência de relação⁹ entre motivação e simulações. Nesse aspecto, as simulações representam um instrumento pedagógico com potencialidade de ser utilizado por professores em sala de aula, dado que a Química é uma ciência de natureza experimental e de que as simulações de experimentos e reações químicas envolvem aspectos de segurança química (humana e ambiental). Isto é, ao se agregar conteúdos, procedimentos, cuidados de valor socioambiental, pode-se contribuir para minimizar a geração de resíduos que ocorrem em laboratórios químicos de pesquisa, de ensino e, posteriormente, inclusive em escalas industriais. Esses são aspectos intimamente relacionados aos princípios da QV.

Em uma simulação, reagentes químicos podem ser “misturados” e o efeito dessa mistura pode ser visto instantaneamente, na tela do microcomputador, com economia de dinheiro, risco e tempo para escola. A possibilidade de erros de procedimentos e medidas é consideravelmente diminuída nesse caso. Hipóteses complexas podem ser testadas com bastante facilidade. Tudo isso fala a favor da simulação pelo microcomputador como um importante recurso para o processo de ensino aprendizagem (CHAVES; SETZER 1988, p.46-47).

Entretanto, é importante destacar que, para Chaves e Setzer (1988), as simulações “[...] devem ser utilizadas como um complemento, nunca como uma substituição total do trabalho no laboratório” (p.45).

9. RÜNTZEL, P. L. **Motivações de Professores ao uso de um Ambiente Temático Virtual para simulações de rotas de síntese em Química Verde**. 2022. 245 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica), Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

Nesse sentido, é indiscutível que as atividades de laboratório há muito tempo têm um papel distinto e central no currículo de ciências e os educadores sugerem que muitos benefícios advêm do envolvimento dos alunos em atividades de laboratório de ciências (HOFSTEIN; MAMLOK-NAAMAN, 2007). Porém, existem algumas dificuldades envolvidas na realização de atividades experimentais em laboratórios didáticos na educação escolar. Silva, Machado e Tunes (2010, p.241) citam:

- a falta de laboratórios nas escolas;
- a deficiência dos laboratórios, traduzida na ausência de materiais, tais como reagentes e vidrarias;
- a inadequação dos espaços disponibilizados para aulas experimentais, que, muitas vezes, são salas comuns que não contam com instalações mínimas de água, gás, eletricidade, etc;
- a não conformidade dos laboratórios para a realização de aulas práticas no Ensino Médio, tendo em vista que esses foram projetados usando como modelo os laboratórios de universidades;
- a grade curricular de Ciências, em função do escasso tempo disponível, dificulta a inclusão de atividades de laboratório;
- o trânsito dos alunos para o laboratório, especialmente quando há necessidade de divisão da turma, perturba a rotina da escola e não é bem aceito pela administração.

Acrescenta-se a essa lista de dificuldades supracitadas, as relativas aos problemas ambientais, que podem ser causados pelo descarte irresponsável dos resíduos químicos (GONÇALVES; MARQUES, 2011). Segundo Machado (2018), a química pode ser implementada com a minimização dos resíduos laboratoriais e com a manipulação de produtos menos tóxicos, de modo a contribuir para melhorar a segurança no laboratório. Nesta direção, as simulações computacionais “[...] podem colaborar na minimização dos resíduos, sobretudo para aqueles casos em que não se sabe

como realizar um tratamento a eles” (GONÇALVES; MARQUES, 2011, p.903).

Portanto, as simulações representam um instrumento pedagógico com potencialidade de ser utilizado por professores em sala de aula. De acordo com Bzuneck (2010), apresentar novidades, abordagens lúdicas e outras estratégias motivacionais em simulações de computador, pode contribuir para promover o interesse e a curiosidade dos estudantes (BZUNECK, 2010). Além de promover o interesse e a curiosidade, o uso de estratégias motivacionais em programas de computador deve contribuir para o envolvimento cognitivo do aprendiz.

[...] É preciso que os educadores, influenciados pela onda atual da inclusão digital nas escolas, tenham presente que muitos programas de computador, destinados a facilitar a aprendizagem das crianças, nada mais fazem do que divertir ou, no máximo, levar os alunos a executar passos predefinidos de uma tarefa. E há o risco de se apreciar a informática na educação apenas sob esse enfoque superficial (BZUNECK, 2010, p.27-28).

Conforme Medeiros e Medeiros (2002), as modernas técnicas computacionais têm tornado os aspectos visuais de uma simulação “encantadores”. Ao mesmo tempo, os autores alertam para os equívocos que podem ser veiculados por simulações que apenas exploram as suas características estéticas. Dentre esses equívocos, consideram-se simulações construídas com base em um modelo explicativo do fenômeno demasiadamente simplificado (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Segundo Chaves e Setzer (1988) “uma simulação é um modelo que pretende imitar um sistema, real ou imaginário, com base em uma teoria da operação desse sistema” (p.44). Medeiros e Medeiros (2002) destacam que “um sistema real é freqüentemente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos que contêm necessariamente, simplificações e aproximações da realidade” (p.80). Nesse sentido, é importante o educador evidenciar a diferença significativa que há entre experienciar

um fenômeno através de um experimento real e de uma simulação computacional (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Além disso,

O estudante pode ser levado a pensar que o mundo real pode ser simplificado e controlado da mesma maneira que nos programas de simulação. Portanto, é necessário criar condições para o aprendiz fazer a transição entre a simulação e o fenômeno no mundo real. Esta transição não ocorre automaticamente e, portanto, deve ser trabalhada (VALENTE, 1998, p.4).

As simulações devem especialmente favorecer o processo de investigação dos fatos e não cumprir apenas com um papel ilustrativo (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). De acordo com Giordan (2008):

[...] nosso desafio é dotar os ambientes de simulação de um caráter dialógico que suscite no aluno a responsabilidade diante dos problemas apresentados e os faça reconhecê-los como ferramentas culturais necessárias à elaboração de significados. Assim, o desenvolvimento de ambientes de simulação extrapola as fases de programação, avançando sobre o desenho gráfico, ou seja, a disposição dos elementos iconográficos e verbais (GIORDAN, 2008, p. 198).

A experimentação atrelada à informática é, ao mesmo tempo, uma prática em sintonia com o trabalho científico, visto que o uso de computadores está fortemente presente na condução dos experimentos. Entretanto, salienta-se que depreciar totalmente a tecnologia como enaltecê-la de forma acrítica é um equívoco (GONÇALVES; MARQUES, 2011).

A próxima seção abordará sobre vários aspectos do ATV-QV, o descrevendo e elucidando um pouco sobre os caminhos de sua navegação.

Ambiente temático virtual e a química verde no ensino

O ATV-QV, aqui exposto, constituiu-se um trabalho de tese apresentado no Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Ele está acessível no site¹⁰ do Quimindex – Laboratório de Divulgação Científica em Química. Seu uso é gratuito e de fácil utilização, como descreveremos a seguir.

Figura 1: Representação da interface inicial do ATV-QV.



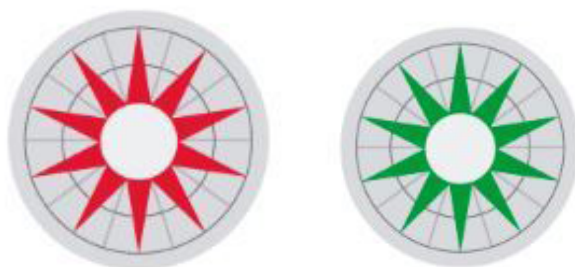
A proposta do ambiente virtual teve o objetivo de constituir-se como apoio e complemento ao desenvolvimento de atividades experimentais no tocante às rotas de sínteses mais seguras, tanto à saúde dos estudantes quanto ao meio ambiente. Portanto, não visa substituir o laboratório físico.

10. Disponível em: <https://quimindex.ufsc.br/index.php/ambiente-tematico-qv/>

Antes de darmos continuidade a descrição/transcrição dos elementos constituintes do ATV-QV, é necessário expormos o conceito de EV, pois esta se caracteriza enquanto uma métrica holística¹¹, necessária para avaliar a veracidade das sínteses químicas.

A EV é construída de acordo com os critérios de avaliação de cada um dos 12 princípios da QV, cada qual recebe uma pontuação durante a análise. A pontuação 1 é atribuída para a atividade experimental que não apresenta grau de veracidade química (casos malignos ou vermelhos). A pontuação 2 significa moderadamente verde, sendo aceitável, embora com algumas restrições e a pontuação 3, quando plenamente verde, representando casos ideais de atividades experimentais (MACHADO, 2014). Destaca-se que na falta de informações sobre algum dado, como por exemplo, de degradabilidade, atribui-se pontuação 1, o que significa aplicar o Princípio da Precaução¹².

Figura 2: Estrela Verde



No ATV-QV há um espaço para a construção de EVs, processo que possibilita o contato com múltiplas informações sobre questões ambientais. Esse ambiente também possui material de apoio, contendo sugestões de conteúdos de química, que podem ser abordados e relacionados aos princípios da QV. O ATV-QV analisa o uso

11. Uma métrica holística considera os 12 princípios da QV na análise da veracidade química (MACHADO, 2014).

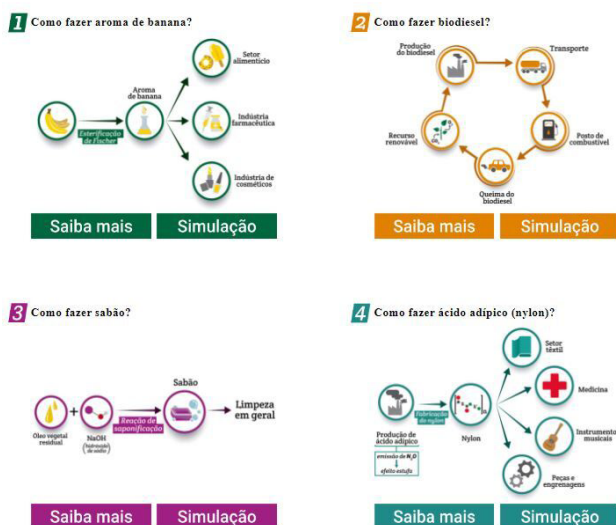
12. Em essência, o princípio da precaução provê um argumento para uma tomada de ação contra uma atividade ou uma substância quando houver ausência de uma certeza científica em vez da continuação de uma prática suspeita enquanto ela está sob pesquisa ou mesmo ainda sem avaliação. Em vez de perguntar qual o nível de dano é aceitável, a precaução questiona: o quanto de contaminação pode ser evitada? Quais são as alternativas para este produto ou atividade e são elas seguras? Esta atividade é realmente necessária? O princípio de precaução foca mais em opções e soluções do que em riscos” (TICKNER; RAFFENSPERGER, 1998, p. 3, tradução nossa).

de substâncias tóxicas em diferentes reações químicas em laboratórios e/ou indústrias. Para fazer isso, ATV-QV foi organizado de modo a oferecer exemplos de simulações de rotas de sínteses químicas, as quais contêm as seguintes características fundamentais:

- Apresenta um problema inicial, como linha de condução para o processo de investigação sobre a vertente química, através da construção da métrica holística EV;
- Fomenta reflexões sobre o uso de substâncias tóxicas em diferentes reações químicas em laboratórios e/ou indústrias prejudiciais ao ambiente;
- Instiga a identificação de rotas - mais verdes e, conseqüentemente, com menor impacto ambiental;
- Trabalha aspectos de segurança física, ambiental e laboratorial.

O ATV-QV oferece como exemplares os tópicos e atividades: a síntese de um éster de aroma de fruta: banana; a síntese de um combustível alternativo: biodiesel; a síntese de um produto de limpeza: sabão; e a síntese do precursor do nylon: ácido adípico (ver Figura 3).

Figura 3: Representação da interface onde são apresentados os temas para investigação e construção das EVs de sínteses químicas



Na investigação de cada tema são trabalhadas as reações químicas de síntese correspondentes, variando-se os componentes da reação para que o usuário promova a simulação através de uma calculadora molecular – um programa (chamado de simulador) por nós construído e disponibilizado no ATV-QV, que teve como referência em sua construção o Portal Educa¹³. Fazendo-se isso é possível obter um resultado (produto de síntese) o qual será “metrificado” via a EV, ou seja, alterando-se os parâmetros de uma reação química de síntese, a exemplo dos catalisadores, é possível comparar qual rota é a mais verde, através da EV. Portanto, será o usuário que irá construir e avaliar as reações químicas, parametrizadas pelos 12 princípios da QV, “construindo” a métrica (gráfica) holística EV.

Demonstra-se aqui, o caso da síntese do aroma de banana para exemplificar o processo de construção do ATV-QV. Para a síntese do aroma de banana, via reação de esterificação de Fischer, problematizam-se as necessidades que levaram as indústrias a fomentar pesquisas com rotas alternativas, de modo a diminuir a geração de resíduos e poluição. Tradicionalmente, o ácido sulfúrico é utilizado como catalisador da reação de esterificação, porém, é preferível o uso de catalisadores heterogêneos, pois esses podem ser facilmente separados por filtração e reutilizados, além da não liberação de resíduos para o meio ambiente (WOLFSON et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2014).

Ao clicar no botão “Simulação”, no tema “Como fazer aroma de banana?” (Figura 3), ao visitante é apresentando o seguinte problema:

Considere uma indústria de aromatizantes que obtém aroma de banana a partir do uso de um catalisador que libera resíduos para o meio ambiente. Porém, podemos minimizar os impactos ambientais causados por esta indústria na produção de aroma de banana. Vamos ajudar essa indústria de aromatizantes a encontrar catalisadores alternativos para a produção de aroma de banana investigando qual substância, participante do processo reacional de síntese do aroma de banana, causará um

13. RIBEIRO, G. T. C.; MACHADO, A. S. C. Pedagogia da Química Verde – Educação para a Sustentabilidade. Plataforma online: <http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>. Dez, 2008.

menor impacto ao meio ambiente. Para ajudarmos essa indústria a minimizar a poluição ambiental, devemos investigar quais são as vantagens de cada catalisador e depois realizar a escolha do menos nocivo ao ambiente. Os catalisadores que investigaremos serão ácido sulfúrico, a resina amberlyst 35 e a argila montmorilonita. Destes catalisadores, qual é o menos nocivo ao meio ambiente? Construa a Estrela Verde e compare.

Figura 4: Representação da interface “Construa as simulações e obtenha a Estrela Verde”: Aroma de Banana.



1 Ácido sulfúrico

2 Resina Amberlyst 35

3 Argila montmorilonita

Os botões referentes ao Ácido sulfúrico (1), Resina Amberlyst 35 (2) e Argila montmorilonita (3), contidos na Figura 4, referem-se, cada qual, a um parâmetro em análise dessa síntese. Ao clicar num dos botões, o visitante é direcionado para a página de construção da EV gerando diferentes estrelas para distintos parâmetros.

Nessa página de construção da EV, dentre outros aspectos, o visitante pode seguir as orientações de um tutorial para o preenchimento do simulador (programa que gera a EV). Para abrir a janela do simulador, o usuário deve clicar no ícone indicado na Figura 5.

Figura 5: Representação do ícone “Clique aqui para construir a Estrela Verde”.

Construindo a Estrela Verde

Para construir a Estrela Verde leia com atenção os passos a seguir.



Clique aqui
para construir a
Estrela Verde

Após clicar no ícone representado na Figura 5 e abrir a janela do simulador, o visitante pode preencher os campos desse programa conforme o passo a passo disponibilizado na página do ATV-QV. Esse passo a passo contém orientações para auxiliá-lo no preenchimento dos diferentes campos do simulador. Assim, o passo a passo é diretamente relacionado às etapas de preenchimento de dados no simulador e da experiência de síntese em estudo.

No primeiro passo, é indicado ao visitante escolher o tipo de experiência na janela de navegação do simulador: “Experiência sem Síntese”, “Experiência de Síntese” e “Experiência de Separação”. No ATV-QV as experiências disponibilizadas são de reações químicas de síntese: aroma de banana, biodiesel, sabão e ácido adípico. Assim, o visitante escolhe a opção “Experiência de Síntese” no simulador e segue para a próxima etapa. Ressalta-se que o visitante pode abrir a janela do simulador e fazer análise de outras experiências que não estão disponíveis no ATV-QV.

Em seguida, no 2º passo, encontra-se disponível a equação química da síntese. O visitante pode copiar e colar essa equação química no espaço “Balancear Equação” no simulador. No terceiro passo, apresentam-se dados referentes aos componentes da síntese em estudo, tais como: reagentes estequiométricos, solventes, outros reagentes auxiliares, produtos e resíduos. O usuário preenche os componentes da reação conforme os campos que aparecem no simulador (reagentes estequiométricos e produtos são automaticamente preenchidos a partir da equação química). Ainda nessa etapa, é preciso preencher os códigos de perigo dos componentes da síntese. Para isso, o visitante pode acessar as Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) das substâncias envolvidas na análise do experimento.

No quarto passo, o usuário realiza a avaliação dos princípios da QV conforme solicitado no simulador. Os princípios P1, P3, P5 e P12 são preenchidos automaticamente no simulador através do registro de dados no passo anterior. Os demais princípios (P2, P6, P7, P9, P10) são analisados pelo usuário. Esta etapa é extremamente importante, pois estes princípios irão influenciar na cor da EV (mais verde ou mais vermelha). Por fim, o usuário gera a imagem

da EV e um resumo com todas as etapas anteriormente preenchidas no simulador. Assim, na última etapa do tutorial, apresenta-se uma EV referente a outro parâmetro investigado na síntese, para fins de comparação das estrelas.

O usuário, em um processo de tomada de decisão, avalia as diversas variáveis que estiveram em questão, bem como as escolhas que efetuou ou efetuará futuramente quando estiver em uma situação real de trabalho. O processo de construção da EV requer a identificação dos códigos de perigo das substâncias (disponíveis nas FISPQ). Isso contribui para um processo de formação que envolve conhecimentos sobre a segurança dos produtos químicos.

A EV possibilita a problematização da geração de resíduos a partir de suas pontas, como por exemplo, a ponta da estrela referente ao princípio P1, o qual considera que é melhor prevenir a formação de resíduos do que tratá-los posteriormente (MACHADO, 2014). A análise dos experimentos por meio da EV “[...] pode ser realizada como atividade didática com os alunos para favorecer a reflexão em torno dos experimentos aos quais são submetidos ou para aprenderem a avaliar as sugestões de experimentos do ponto de vista “ambiental” (GONÇALVES; BRITO, 2014, p.39). Nesse sentido, o ATV-QV pode contribuir para influir um processo de reflexão sobre a geração e emissão de resíduos tóxicos no meio ambiente e a formação de um posicionamento crítico frente as questões ambientais.

Considerações finais

São diversas as formas de utilização dos computadores no ensino. Destaca-se o potencial do uso do computador na construção de simulações (OLIVEIRA, 2012). As simulações de experimentos e reações químicas se mostram de grande valor ambiental, no sentido de contribuir para minimizar a geração de resíduos ocorridas em laboratório e posteriormente em escalas industriais. Nesse sentido, Gonçalves (2009) ressalta a importância de utilizar a informática na condução de experimentos com enfoque na QV.

Considerando a necessidade de uma discussão envolvendo perspectivas didático-pedagógicas da QV, apresentamos neste capítulo o ATV-QV. Como se pode demonstrar, nas palavras acima, o percurso é relativamente fácil, pois o ATV-QV foi pedagogicamente pensado e estruturado para facilitar a interação do usuário com o Laboratório Virtual e suas informações e instruções de uso. A todo instante o usuário pode abrir janelas informativas complementares para enriquecer seus conhecimentos para além dos conceitos químicos, na perspectiva crítica da ciência e da tecnologia, bem como da busca por uma química mais benigna e voltada à sustentabilidade do ambiente.

Destaca-se a necessidade de ampliar as possibilidades de inclusão da QV no ensino, em especial na Educação Básica. Nesse sentido, mostrou-se necessário abordar as potencialidades e limitações do uso de simulações. A inserção de elementos tecnológicos nos processos de ensino, que considerem conteúdos químicos, pode tornar a realização de simulações de grande valia, no que se refere à contribuição para a compreensão de modelos que visam explicar um determinado fenômeno da natureza. Isso pode contribuir também, facilitando a visualização do fenômeno no processo de abstração do conceito. Ou seja, há certo reconhecimento sobre a necessidade de usufruirmos de recursos tecnológicos no ensino, porém, o fazendo de modo crítico e não substitutivo.

Cabe destacar que o ATV-QV está em processo contínuo de desenvolvimento incorporando novas rotas de sínteses e se estabelecendo em um canal de interação universidade-escola.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina- FAPESC pela bolsa de doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (150109/2023-7).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Projeto QUIMIDEX na Escola, nº do processo 441132/2019-7.

Gostaríamos de agradecer ao CNPq pelo Projeto Universal 402462/2021-1.

Agradecemos ao Professor Adélio A. S. C. Machado (Universidade do Porto, Portugal).

Referências

ACS. **Green Chemistry History**. Disponível em: <<https://www.acs.org/green-chemistry/what-is-green-chemistry/history-of-green-chemistry.html>>. acesso em: 07/02/2023.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry - Theory and Practice**. New York: Oxford University Press, 1998.

BÉVORT, E.; BELLONI, M. L. Mídia-educação: conceitos, história e perspectivas. **Educação & Sociedade**, v. 30, n. 109, p. 1081-1102, set./dez. 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/es/a/5pBFdjL4mWHnSM5jXySt9VF/?lang=pt>> acesso em 26/02/2023.

BORTOLAZZO, S. F. O imperativo da cultura digital: entre novas tecnologias e estudos culturais. **Revista Cadernos de Comunicação**, v. 20, n. 1, p. 1-24, jan/abr. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/ccomunicacao/article/view/22133>> acesso em 26/02/2023.

BZUNECK, J. A. **Como motivar os alunos**: sugestões práticas. In: BORUCHOVITCH, E.; BZUNECK, J. A.; GUIMARÃES, S. É. R. (orgs.). *Motivação para aprender: aplicações no contexto educativo*. Petrópolis: Vozes, 2010, p. 13-42.

CALVO-FLORES, F. G. Parámetros para el análisis de las reacciones en Química Sostenible. **Química y Medio Ambiente**, n. 105, p. 42-49, 2009. Disponível em: <[file:///C:/Users/qosav/Downloads/1615-Texto%20del%20art%C3%ADculo-5513-1-10-20201209%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/qosav/Downloads/1615-Texto%20del%20art%C3%ADculo-5513-1-10-20201209%20(2).pdf)> acesso em 04/02/2023.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. Tradução de Claudia Sant' Anna Martins. São Paulo: Gaia, 2010.

CATALDI, Z.; DONNAMARÍA, C.; LAGE, F. Simuladores y laboratorios químicos virtuales: Educación para la acción en ambientes protegidos. **Quaderns Digitals**, n. 55, p. 1-10, 2008. Disponível em: <http://mail.quadernsdigitals.net/datos_web/hemeroteca/r_1/nr_802/a_10814/10814.pdf> acesso em 26/02/2023.

CHAVES, E. O. C.; SETZER, V. W. **O uso dos computadores em escolas: Fundamentos e críticas.** São Paulo: Scipione, 1988.

CONSTABLE, D. J. C.; CURZONS, A. D.; CUNNINGHAM, V. L. Metrics to 'green chemistry' - which are the best? **Green Chemistry**, v. 4, n. 6, p. 521-527, dez. 2002. Disponível em: <<https://www.chem.tamu.edu/rgroup/djd/chem483/Lectures/Metrics%20to%20green%20chem.pdf>> acesso em 04/02/2023.

CORTES JÚNIOR, L. P. **A dimensão ambiental na formação inicial de professores de química:** estudo de caso no curso da UFBA. Tese (Doutorado em Ensino de Química) – Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81132/tde-28042014-202408/publico/Lailton_Passos_Cortes_Jr.pdf> acesso em 26/02/2023.

DUARTE, R. C. C. **Síntese verde no ensino da Química.** 2016. 370f. Tese (Doutorado em Ensino e Divulgação das Ciências), Unidade de Ensino das Ciências, Universidade do Porto, 2016. Disponível em: < <http://educa.fc.up.pt/v2/ficheiros/investigacao/76/VER%20TESE%20de%20Rita%20C.%20C.%20Duarte.pdf>> acesso em 26/02/2023.

DUARTE, R. C. C.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. O tratamento da Economia Atômica no programa e manuais do ensino secundário. **Química e Ensino**, v. 43, n. 152, jan./mar., 2019. Disponível em: < <http://educa.fc.up.pt/ficheiros/investigacao/188/VER%20ARTIGO%20COMPLETO%20COM%20O%20MATERIAL%20SUPLEMENTAR%20.pdf>> acesso em 26/02/2023.

FARIAS, L. A.; FÁVARO, D. I. T. Vinte Anos de Química Verde: Conquistas e Desafios. **Química Nova**, v. 34, n. 6, p.1089-1093, 2011. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/qn/a/8NM8K3MNf5tsZTZ84HCJ3mf/?lang=pt>> acesso em 26/02/2023.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento:** entropia, ecologia, economia. São Paulo: Senac São Paulo, 2012.

GIORDAN, M. **Computadores e linguagens nas aulas de Ciências.** Ijuí: Ed. Unijuí, 2008.

GONÇALVES, F. P. **A problematização das atividades experimentais no desenvolvimento profissional e na docência dos formadores de professores de Química.** 2009. 245 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica), Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92977>> acesso em 23/02/2023.

GONÇALVES, F. P.; BRITO, M. A. **Experimentação na educação em química:** fundamentos, propostas e reflexões. Florianópolis: Editora UFSC, 2014.

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A. A problematização das atividades experimentais na educação superior em Química: uma pesquisa com produções textuais docentes. **Química Nova**, v. 34, n. 5, p. 899-904, 2011. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/qn/a/kzVwnN7x3GNkNK5PVsBbbGm/?lang=pt>> acesso em 01/03/2023.

HJERESSEN, D. L.; BOESE, J. M.; SCHUTT, D. L. Green Chemistry and Education. **Journal of Chemical Education**, v. 77, n. 12, dez. 2002. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed077p1543>> acesso em 23/02/2023.

HOFSTEIN, A.; MAMLOK-NAAMAN, R. The laboratory in science education: the state of the art. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 8, n. 2, p.105-107, 2007. Disponível em: <https://www.rsc.org/images/Hofstein%20intro%20final_tcm18-85027.pdf> acesso em 23/02/2023.

LEAR, Linda. Introdução. In: CARSON, Rachel. **Primavera silenciosa**. Tradução de Claudia Sant' Anna Martins. São Paulo: Gaia, 2010.

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. C. "Green Chemistry" - Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/XQTWJnBbnJWtBCbYsKqRwsy>> acesso em 10/01/2023.

LINTHORST, J. A. An overview: origins and development of green chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 12, n. 1, abril, p. 55-68, 2010. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-009-9079-4>> acesso em 26/02/2023.

LOUREIRO, Carlos Frederico B. **Sustentabilidade e Educação: um olhar da ecologia política**. São Paulo: Cortez, 2012.

MACHADO, A. A. S. C. Da gênese ao Ensino da Química Verde. **Química Nova**, v. 34, n.3, p.535-543, 2011. Disponível em: < http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_art-text&pid=S0100-40422011000300029> acesso em 26/02/2023.

MACHADO, A. A. S. C. A. **Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica**. Florianópolis: Editora UFSC, 2014.

MACHADO, A. A. S. C. Dos primeiros aos segundos doze princípios da Química Verde. **Química Nova**, v. 35, n. 6, p. 1250-1259, 2012. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/qn/a/d87VJT9Z5Qvb8p7JMpfVDmP/?lang=pt>> Acesso em 07 de fev. de 2023.

MACHADO, A. A. S. C. Métricas da Química Verde – A produtividade Atômica. **Química**, out/dez. 2007. Disponível em: < <https://www.spq.pt/magazines/BSPQuimica/632/article/30001406/pdf>> acesso em 26/02/2023.

MACHADO, A. A. S. C. Os princípios da Química Verde e a segurança laboratorial. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, v. 148, p. 47-57, 2018. Disponível em: < <https://www.spq.pt/magazines/BSPQuimica/683/article/30002129/pdf>> acesso em 26/02/2023.

MACHADO, A. A. S. C. Química e Desenvolvimento sustentável - QV, QUIVES, QUISUS. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, v. 59, p. 59-67, 2004. Disponível em: < <https://www.spq.pt/magazines/BSPQuimica/620>> acesso em 26/02/2023.

MARQUES, C. A.; GONÇALVES, F. P.; ZAMPIRON, E.; COELHO, J. C.; MELLO, L. C.; OLIVEIRA, P. R. S.; LINDEMANN, R. H. Visões de meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de química na escola média. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2043-2052, 2007. Disponível em:< <https://www.scielo.br/j/qn/a/yswnYvkPmtNmLn4jRHyLVJf/?lang=pt>> acesso em 26/02/2023.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. Environmental Sustainability: implications and limitations to Green Chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 16, p. 125-147, 2014. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-013-9189-x>> Acesso em 26/02/2023.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. An integrated vision of the Green Chemistry evolution along 25 years. **Foundations of Chemistry**, v. 23, p. 299-328, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10698-021-09396-6>> acesso em 26/02/2023.

MATLIN, S. A.; MEHTA, G.; HOPF, H.; KRIEF, A. The role of chemistry in inventing a sustainable future. **Nature Chemistry**, v. 7, p. 941-943, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/283707371_The_role_of_chemistry_in_inventing_a_sustainable_future> acesso em 26/02/2023.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, jun. 2002. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/4gsZ3kVfMKNXGzM-cyRBZzFq/abstract/?lang=pt>> acesso em 26/02/2023.

OLIVEIRA, Ramon. **Informática Educativa: Dos planos e discursos à sala de aula**. 17^a ed. Campinas, SP: Papirus, 2012.

OLIVEIRA, C. A.; SOUZA, A. C. J.; SANTOS, A. P. B.; SILVA, B. V.; LACHTER, E. R. e PINTO, A. C. Síntese de ésteres de aromas de frutas: um experimento para cursos de graduação dentro de um dos princípios da química verde. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 1, p. 152-167, 2014. Disponível:<[file:///C:/Users/qosav/Downloads/mharau-jo1993,+AngeloFinal%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/qosav/Downloads/mharau-jo1993,+AngeloFinal%20(1).pdf)> acesso em 01/04/2023.

REIGOTA, Marcos. **Meio Ambiente e Representação Social**. 8^a ed. São Paulo: Cortez, 2010.

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. A. S. C. Green Star: a Holistic Green Chemistry metric for evaluation of teaching laboratory experiments. **Green Chemistry Letters & Reviews**, v. 3, p. 149-159, 2010. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17518251003623376>> acesso em 26/02/2023.

RIBEIRO, M. G. T. C.; YUNES, S. F.; MACHADO, A. A. S. C. Assessing the Greenness of Chemical Reactions in the Laboratory Using Updated Holistic Graphic Metrics Based on the Globally Harmonized System Of Classification and Labeling of Chemicals. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 11, p. 1901-1908, 2014. Disponível em:<<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed400421b>> acesso em 12/02/2023.

SHELDON, R. A. Atom efficiency and catalysis in organic synthesis. **Pure and Applied Chemistry**, v. 72, n. 7, p. 1233-1246, 2000. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac200072071233/html?lang=en>> acesso em 14/02/2023.

SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L.; TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, W. L. P. e MALDANER, O. A. (orgs.) **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2010.

SJÖSTRÖM, J.; TALANQUER, V. A. Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 8, p. 1125-1131, 2014. Disponível em:<<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed5000718>> acesso em 26/02/2023.

SOUZA, L. C. A. B. **A problematização do princípio da precaução na formação do técnico agrícola: reflexões para o enfrentamento da racionalidade instrumental a partir de uma questão sociocientífica.** 2016. 351 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica), Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/167989> > acesso em 14/02/2023.

SOUZA, A. C.; ALVES, L. A.; BERTINI, L. M.; NASCIMENTO, T. L. **Química Verde para a sustentabilidade:** natureza, objetivos e aplicação. 1ª ed. Curitiba: Appris, 2020.

TICKNER, J. A.; RAFFENSPERGER, C. **The precautionary principle in action: a handbook. Science and Environmental Health Network.** 1998. [versão digital]. Disponível em:< <http://www.pauldavidtuff.com/PDF%20Files/handbook.pdf>>. acesso em: 22/02/2023.

VALENTE, Jose Armando. Diferentes usos do computador na educação. In: VALENTE, Jose Armando (org.). **Computadores e conhecimento:** repensando a educação. 2. ed. Campinas: Grafica Central UNICAMP, 1998, p. 1-27.

WOLFSON, A.; SAIDKARIMOV, D.; DLUGY, C. e TAVOR, D. Green synthesis of isoamyl acetate in glycerol triacetate. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 2, n. 2, p.107-110, 2009. Disponível em:< <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17518250903170850> > acesso em 01/04/2023.

ZUIN, V. G; MAMMINO, L. **Worldwide Trends in Green Chemistry Education.** RSC, Cambridge, 2015.

ZUIN, V. G.; MARQUES, C. A. Green Chemistry Education in Brazil: Contemporary Tendencies and Reflections at Secondary School Level. In: ZUIN, V.G; MAMMINO, L. (Orgs). **Worldwide Trends in Green Chemistry Education.** RSC, Cambridge, 2015.

Experimentação em Química Verde: relato de uma experiência no ensino médio e técnico

Juliana Barreto Brandão

Júlia Damazio Bouzon

Alvaro Chrispino

Introdução

As revoluções industriais impulsionaram avanços científicos e tecnológicos que contribuíram para a melhoria da qualidade de vida da humanidade, porém interferiram na dinâmica de existência do planeta.

Nesse contexto, a Química tem tido atuação fundamental, uma vez que “participa do desenvolvimento científico-tecnológico com importantes contribuições específicas, cujas decorrências têm alcance econômico, social e político” (BRASIL, 1998, p.30). Entretanto, se por um lado é responsável pela geração de uma série de serviços e produtos úteis aos seres humanos, por outro, colabora para a degradação do meio ambiente, seja pela emissão de poluentes, seja pela utilização dos recursos naturais de modo agressivo.

Desta forma, pode-se dizer que a humanidade tem estado diante de um dos maiores desafios desde o início da sua existência. E nesse revés, as ações de enfrentamento, que permitam respeitar os limites da Terra, necessitam de comprometimento político, social e econômico, além de envolverem mudanças na forma de educar, fazer ciência e desenvolver tecnologia.

Para Epicoco, Oltra e Saint Jean (2014), a transição para sistemas mais sustentáveis depende principalmente da capacidade das empresas de desenvolver novos métodos, produtos e/ ou processos que beneficiem o meio ambiente.

Nesse sentido, a Química Verde (QV) e seus princípios têm se expandido desde a década de 1990, quando foi definida por Anastas e Warner (1998) como a “utilização de um conjunto de princípios que reduzem ou eliminam o uso ou a geração de substâncias perigosas durante o planejamento, manufatura e aplicação de produtos químicos” (ANASTAS; WARNER, 1998, p.11).

Esse conceito demandou uma nova postura de trabalho dos profissionais atuantes nas indústrias e, ao mesmo tempo, começou a ser incorporado gradativamente ao meio acadêmico, no ensino e pesquisa, como afirma Lenardão *et al.* (2003).

Na área de ensino, estudos mostram que o ensino da QV vem se consolidando nas etapas da graduação e pós-graduação (LEAL; MARQUES, 2008; MARQUES, 2012; CORRÊA *et al.*, 2013; ZUIN, 2013; SUMMERTON *et al.*, 2013; ROLOFF; MARQUES, 2014). Entretanto, a inserção desses conceitos no ensino médio ainda é modesta, como apontam as pesquisas de Brandão *et al.* (2018), Borreda e Vilches (2016) e Zuin e Marques (2015).

Pinto *et al.* (2009, p. 568) afirmam a importância de “inocular nos estudantes e profissionais o comportamento verde”, enquanto, Zandonai *et al.* (2014, p.80) ressaltam a necessidade de inserir e problematizar a QV no campo da Química, destacando que “a produção de propostas didáticas verdes [...] mostram o potencial para o estabelecimento de condições [...] para o enfrentamento de problemáticas socioambientais”. Nesse sentido, acredita-se que indivíduos inseridos na filosofia dos princípios da QV poderão atuar de modo mais consciente diante de questões decisivas sobre o meio ambiente. No entanto, faz-se necessário pensar sobre a forma de abordagem desses conceitos no estudo da Química no ensino médio.

É importante destacar que vários fatores influenciam o processo de escolha sobre a condução do ensino de Química em sala de aula, como a definição dos objetivos desse ensino e o currículo, por exemplo. Sendo assim, considera-se fundamental trazer à tona as bases legais da educação brasileira que balizam a discussão a respeito desses aspectos.

De acordo com o Art. 2º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), a educação escolar “tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e a sua qualificação para o trabalho” (BRASIL, 1996). As Diretrizes Nacionais Curriculares para o Ensino Médio (DCNEM) e os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) apresentam, aos educadores, orientações que deveriam conduzir com sucesso o processo de ensino e aprendizagem à obtenção dessa finalidade. Ambos os documentos enfatizam que o ensino de Química visa contribuir para a formação da cidadania e destacam a contextualização do ensino como fundamental para isso (BRASIL, 1998; BRASIL, 2006).

A Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), que define o conjunto de aprendizagens que todos os alunos devem desenvolver durante a educação básica, estabelece que

cabe às escolas de Ensino Médio contribuir para a formação de jovens críticos e autônomos, entendendo a crítica como a compreensão informada dos fenômenos naturais e culturais, e a autonomia como a capacidade de tomar decisões fundamentadas e responsáveis (BRASIL, 2018, p. 463).

Tendo isso em vista, conhecer sobre as bases legais da educação brasileira é importante para que se pense em abordagens de ensino compatíveis com os objetivos previstos legalmente. Deste modo, passemos então a discutir sobre aspectos relacionados à forma de ensinar os conteúdos científicos.

Segundo Auler (2003; 2007), abordagens centradas apenas nos conteúdos e, totalmente desvinculadas do cotidiano social e de trabalho dos alunos, contribuem para a formação de cientistas, além de tornarem as aulas desinteressantes, levando os estudantes a se questionarem sobre o sentido desse estudo, já que

[...] pode ser interessante ensinar as disciplinas, por elas mesmas, a futuros especialistas, mas não devemos nos assombrar se, quando nosso ensino está majorita-

riamente centrado sobre os interesses dos cientistas, os jovens acabem ficando desgostosos com o ensino de ciências (AULER, 2003, p. 78).

No entanto, os professores passaram tanto tempo imersos nesse modo de ensinar/aprender, que mesmo diante dessas constatações ainda sentem dificuldade para superar esse tipo de abordagem. Aliado a isso, outros fatores como o processo de formação inicial, políticas públicas, infraestrutura e gestão escolar, remuneração, livros didáticos, entre outros, contribuem para a manutenção deste *status quo*.

Além disso, diversos autores relatam que essa forma meramente propedêutica do ensino também contribui para que os estudantes desenvolvam uma concepção cheia de mitos a respeito da ciência, por exemplo: ciência neutra, infalível, salvacionista e determinante para o desenvolvimento de tecnologias que levam sempre ao progresso, dentre outros (AULER; DELIZOICOV, 2001; MANASSERO; VÁZQUEZ, 2002; SANTOS; MORTIMER, 2002; BAZZO; LINSINGEN; PEREIRA, 2003).

Nesse sentido, o ensino alicerçado na tríade Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) tem se mostrado como uma boa possibilidade ao professor que deseja ascender à docência estritamente conteudista. Essa abordagem propõe caminhos que podem conduzir à formação de indivíduos críticos e com maior capacidade para fazer escolhas mais conscientes.

O ensino CTS valoriza a aprendizagem dos conteúdos científicos, mas não como uma finalidade e sim como meio para a compreensão da ciência desmitificada, na qual a tecnologia não corresponde a uma consequência da ciência e que gera sempre benefícios para a sociedade. Ao contrário, os três aspectos CTS atuam de forma integrada relacionando a ciência e a tecnologia num contexto social e, dessa forma, possibilitam aos alunos sentirem-se parte desse estudo, uma vez que seus comportamento e pensamento enquanto atores sociais são partes fundamentais dessa abordagem, ou seja, o estudante deixa de receber um conhecimento pronto.

Manassero e Vázquez (2002) afirmam que

O objetivo do ensino de atitudes relacionadas com a ciência não deve apenas promover um ponto de vista particular sobre ciência, mas abrir a formação para as diferentes alternativas que ainda estão em estudo, debate e, se possível, eleições, reconhecendo a existência de respostas plurais a questões importantes sobre a ciência. (MANASSERO; VÁZQUEZ, 2002, p.17).

Sendo assim, o ensino CTS pressupõe que situações cotidianas do meio social possam ser tratadas de forma ampla em sala de aula, como é o caso das questões ambientais. E, nessa perspectiva, o ensino de QV na abordagem CTS tem sido bastante relatado na literatura. Marques e Machado (2018) afirmam que as dimensões sociais, econômicas e ambientais de QV apontam para uma perspectiva de educação científica situada nos estudos CTS, enquanto Sandri e Santin Filho (2017, p.113) indicam que essa escolha permite “extrapolar os limites restritos do conteúdo e explorar suas implicações em contextos mais amplos”.

Tendo isso em vista, acredita-se que o estudo da QV numa abordagem CTS permite identificar e compreender alguns limites e possibilidades fundamentais para a construção de argumentos científicos, podendo contribuir de algum modo para a formação de alunos mais esclarecidos, com pensamento crítico, capazes de fazer escolhas mais lúcidas e interagir de modo mais responsável com o meio ambiente.

Além da abordagem de ensino, outro aspecto importante dessa discussão relaciona-se com as estratégias didáticas utilizadas para introduzir o ensino de QV. Costa, Ribeiro e Machado (2008) analisaram artigos publicados pela *Journal of Chemical Education* (JCEd) e identificaram que a maior parte deles contempla atividades experimentais. Marques e Machado (2018) ampliaram a pesquisa e investigaram artigos publicados até 2014 pelas revistas internacionais *Green Chemistry*, *JCEd* e *Educación Química*, identificando três vertentes considerando as propostas didáticas apresentadas nos textos: enxerto de conteúdos de QV na disciplina regular de Química; QV como disciplina ou curso introdutório; e QV como componente transversal do currículo. Em âmbito nacional, Zandonai *et al.* (2014)

afirmam que os conceitos de QV têm sido introduzidos nas instituições de ensino brasileiras a partir da experimentação. Levando em consideração a natureza prática dos princípios da QV, estudar sobre esses conceitos a partir de atividades experimentais pode tornar o processo de ensino-aprendizagem mais compreensível.

Segundo Galiazzi *et al.* (2001, p.250), “é consenso que a experimentação é uma atividade fundamental no ensino de Ciências”, porém, não se pode dizer o mesmo em relação aos objetivos das atividades experimentais, que ainda são causa de frequente discussão. Dentre os mais comuns, destacam-se: motivação dos alunos; ensino do método científico; esclarecimento da teoria, verificação de fatos; manipulação de instrumentos e investigação para resolução de problemas.

De acordo com a literatura (HODSON, 1994; 2005; GIORDAN, 1999, GALIAZZI *et al.*, 2001), as finalidades das práticas experimentais no ensino de Química apresentam potencialidades e limitações. A crença de que a experimentação em sala de aula estimula a participação dos estudantes é bastante questionada, visto que a motivação por si só não garante a aprendizagem, além do fato de que muitos não se interessam por esse tipo de atividade. A reprodução literal de um roteiro sem o incentivo à pesquisa também se constitui em fator de limitação, já que é instrumento fundamental para a construção do conhecimento; e a mera manipulação de utensílios e materiais, em geral, não provoca reflexão, sendo interessante, talvez, apenas para a formação de cientistas.

Por outro lado, Gonçalves e Marques (2011, p.899) afirmam que “a problematização como um princípio no desenvolvimento de atividades experimentais é uma forma de superar o caráter meramente ilustrativo de conhecimentos teóricos que, às vezes, a elas se atribui”. Andrade e Zuin (2021) corroboram com essa ideia e acrescentam que ao inserir problematização, incentivo à pesquisa e processos mais verdes nas propostas experimentais, de modo que auxiliem os estudantes no entendimento de questões econômicas, sociais e ambientais mais amplas, isso contribui para a transição da aprendizagem promovida pela experimentação para além da instrumentação.

Portanto, é possível que, por meio da experimentação, os discentes tenham a criatividade e o senso crítico estimulado, sejam oportunizados a expressar questionamentos, elaborar argumentos e, assim, construir o conhecimento. Deste modo, o entendimento dos conhecimentos científicos não decorre exclusivamente da experimentação ou da teoria, uma vez que as dimensões teórica e prática desses conhecimentos não são isoladas (BORGES, 2002). Não se trata apenas de motivar os alunos a partir da manipulação de aparatos, mas de envolvê-los nas atividades experimentais, estimulando sua capacidade de articular soluções. Assim, considera-se que a inserção dos conceitos de QV no ensino médio, a partir da abordagem CTS e por meio da experimentação, pode contribuir para a formação cidadã dos alunos, no sentido de serem “capazes de tomar decisões que envolvem temas científicos, em especial os de interesse público” (MOURA; GUERRA, 2016, p. 730).

Levando isso em conta, este capítulo apresenta o relato de uma experiência realizada em uma instituição federal, com estudantes de ensino médio e técnico, e por meio de um curso de extensão sobre experimentação em QV. A narrativa é um recorte de pesquisa de doutorado de uma das autoras e pretende não só compartilhar e difundir os resultados, como inspirar outros professores e licenciandos em Química a promoverem suas aulas pautados na filosofia da QV.

Metodologia

Um dos pilares para a construção de um mundo mais verde e sustentável é a formação de uma sociedade consciente das demandas do planeta (CGEE, 2010) e isso pressupõe mudança de hábitos individuais e coletivos. Nesse contexto, acredita-se que estudar sobre QV é essencial para a formação dessa consciência nos indivíduos, como modo de ver e entender os fenômenos naturais e artificiais, além da produção da Ciência/Química. No entanto, cabe a reflexão sobre como alcançar essa finalidade no ensino médio e técnico.

Estudos apontam que o ensino meramente propedêutico não tem contribuído para a formação de estudantes capazes de resolver questões relacionadas à vida (AULER; DELIZOICOV, 2001). Os autores consideram que a abordagem conceitual precisa ser superada e sugerem a abordagem temática como uma possibilidade para o desenvolvimento do pensamento crítico e a tomada de decisões no futuro, além de quebrar os mitos da ciência.

Sendo assim, a primeira etapa deste trabalho foi pesquisar sobre temas de relevância socioambiental na área de QV, que pudessem ser discutidos com os discentes durante o curso de extensão, com potencial para promover o desenvolvimento das habilidades citadas, de modo a contribuir para a sua formação nesse segmento da Educação Básica. Detalhes da seleção dos temas são apresentados na próxima seção. Em seguida, o curso de extensão foi estruturado com o objetivo de estudar sobre conceitos da QV a partir da experimentação química, visando a atender alunos do ensino médio e técnico da própria instituição, bem como estudantes da comunidade externa. Assim, o curso foi oferecido em dois momentos: primeira turma, em uma versão presencial, e segunda turma em modo remoto devido às consequências da Pandemia da COVID-19.

Neste capítulo apresentaremos o relato de experiência da primeira turma, que contou com a participação de 20 alunos da própria instituição, dos cursos de eletrônica (7) e eletrotécnica (13) – 16 da primeira série e 4 da segunda série. Todas as práticas foram realizadas pelos discentes. A inscrição foi voluntária e, por isso, a diversidade de cursos e séries foi aleatória e não sofreu interferência da autora.

A metodologia empregada na primeira turma abrangeu uma sequência didática de 5 aulas, que foram ministradas no laboratório de Química da instituição, com 3 horas de duração por dia e 5 horas para a elaboração do trabalho final, totalizando 20 horas.

A ementa (Apêndice 1) foi elaborada contendo a descrição de todos os assuntos abordados em cada tema de QV, bem como dos experimentos e conteúdos químicos estudados durante o curso.

Os experimentos químicos foram selecionados de acordo com os temas de QV previamente definidos. Os protocolos (Apêndice 2), foram retirados da literatura e seguidos na íntegra ou adaptados após testagem prévia no laboratório de Química.

No fim do curso, os discentes que tiveram frequência igual ou superior a 75% e entregaram o trabalho final – uma proposta de projeto verde para ser desenvolvido em prol da sua escola – receberam um certificado de participação emitido pela instituição.

A escolha dos temas

Inicialmente foi realizado um levantamento de palavras-chave de publicações sobre o ensino de QV em periódicos nacionais (BRANDÃO *et al.*, 2018), cujo estudo indicou dois termos de grande relevância e muito pertinentes ao ensino de QV: biocombustível e sustentabilidade. Dentre eles, considera-se que biocombustível, além de ser um tema de destaque na área pesquisada, representa também uma temática experimental muito aplicada nos laboratórios de Química.

A relevância desta palavra-chave na pesquisa pode ser explicada pela posição de destaque do Brasil em relação a essa área no cenário mundial: é o segundo país maior produtor de etanol e biodiesel no mundo (BORTOLETO *et al.*, 2020). De acordo com relatórios de agências internacionais, até 2030 teremos um aumento de 53% na demanda de energia (SHAHID; JAMAL, 2011). Aliado a esse fato, as dificuldades enfrentadas pela indústria de petróleo como o aumento do custo, a depleção dos recursos naturais e a poluição ambiental, contribuem para que o Brasil e demais países se preocupem em diversificar cada vez mais a sua matriz energética. Segundo Lemos, Seidl e Guimarães (2021, p.6), “aumentar a participação de biocombustíveis na matriz energética para atender o Acordo de Paris e reduzir a emissão de CO₂, é altamente desejável”. Desta forma, acredita-se que este é um tema de grande relevância social na área de QV, além de possibilitar uma abordagem

experimental e, por isso, foi selecionado para discussão no curso de extensão.

Nesse contexto, a literatura apresenta alguns estudos sobre os assuntos mais abordados em QV, como os de Farias e Fávoro (2011); Marcelino, Pinto e Marques (2020) e Marques e Machado (2021). Os dois primeiros autores apresentaram um panorama geral sobre os primeiros vinte anos da QV, a partir da análise de artigos publicados em periódicos selecionados na base de dados da CAPES, no período de 1991 a maio de 2010, e que continham no título a expressão “Green Chemistry” ou “Química Verde”. O trabalho destacou a catálise como um dos temas mais abordados nos artigos investigados, além de síntese orgânica, reações orgânicas e química de produtos naturais, que são de importância relevante para a indústria farmacêutica, utilizadora de grande quantidade de substâncias químicas como princípios ativos e auxiliares, além de ser considerada muito poluidora devido à geração de grande quantidade de resíduos (MACHADO, 2014). Por isso, é um setor que demanda rotas sintéticas mais limpas. Marques e Machado (2021), em artigo no qual apresentam uma visão integrada sobre a QV ao longo de 25 anos, destacam alguns temas muito abordados nesse período, como o uso de biomassa, recursos renováveis, a busca por eficiência energética, potencial de solventes mais adequados, catálise, métricas, economia circular etc.

Desta forma, dentre os temas ressaltados, considerou-se a química de produtos naturais muito relevante para ser tratada com os estudantes dos ensinos médio e técnico no curso de extensão sobre QV. Além de sua aplicação na área farmacológica e medicinal, destaca-se também sua utilização nas áreas alimentícia, biológica, de ecologia e de cosméticos, por exemplo. Segundo Berlinck *et al.* (2017, p.706), “a importância dos produtos naturais hoje na sociedade moderna é indiscutível” e o Brasil se situa em posição privilegiada devido à sua vasta biodiversidade.

Nesse sentido, nota-se que as pesquisas sobre o uso de biomassa são uma tendência mundial, fato corroborado pela investigação de Marcelino, Pinto e Marques (2020), na qual esse tema aparece como uma das especialidades mais pesquisadas em QV, além de

solventes, líquidos iônicos e catálise. Levando-se em consideração a diversidade biológica do nosso país, este encontra-se também em posição de destaque “para assumir a liderança no aproveitamento integral das biomassas” (CGEE, 2010, n.p.), que são materiais renováveis com potencial para a geração de energia e menor liberação de gases poluentes. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e soja e o terceiro maior produtor mundial de milho (LE MOS; SEIDL; GUIMARÃES, 2021), fatos que o tornaram um polo de atração mundial na produção de biocombustíveis (ANTAR *et al.*, 2021).

Sendo assim, reconhecemos como essencial discutir sobre o uso de biomassa devido ao potencial brasileiro de produção e consequências econômicas, sociais e ambientais de seu uso, como: aumento da diversificação da matriz energética, geração de empregos e utilização de matéria-prima renovável, por exemplo. Portanto, esse foi o último tema escolhido para abordagem no curso de extensão.

Além da abordagem temática, o curso foi elaborado na perspectiva da experimentação química, como porta de entrada para o ensino de conceitos de QV e articulação com os conteúdos de Química previstos no ensino médio e técnico. Desta forma, os estudantes foram introduzidos no universo deste campo de pesquisa, sob a perspectiva CTS, em vista de problematizar possíveis contribuições para a sua formação técnica.

No contexto da QV, Gonçalves *et al.* (2017) destaca a importância de abordar a dimensão ambiental na experimentação em química, e afirma que esse aspecto tem sido relatado pela literatura ao se empregar, por exemplo, reagentes derivados de recursos renováveis, bem como o uso de biomassa. Ainda sob esse viés, ressalta que avaliar os protocolos das práticas, a partir do uso de métricas, como as métricas holísticas de Adélio Machado (2014), tem se caracterizado como estratégia.

Segundo Adélio Machado (2014), o uso de métricas contribui para identificar aspectos químicos, ambientais e energeticamente negativos nos procedimentos e que tem potencial para serem mo-

dificados. Desta forma, o autor desenvolveu um grupo de métricas verdes muito apropriadas para a avaliação de práticas experimentais realizadas em laboratórios de ensino, denominadas de métricas holísticas.

Com o intuito de melhorar a prática da Química em relação aos seus efeitos prejudiciais para o ambiente e a saúde humana (RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010), “essas ferramentas têm por base a análise do cumprimento individual dos 12 princípios da QV a partir de critérios previamente definidos, sendo os resultados da avaliação apresentados em gráficos [...] ou em tabelas” (RIBEIRO; MACHADO, 2012, p. 1879).

De acordo com Marques *et al.* (2020, p.1513)

A preocupação com o uso do pensamento holístico para a implementação de QV como sistema tem se materializado na construção de métricas holísticas de verdura que avaliam simultaneamente várias dimensões da veracidade química, em oposição às métricas tradicionais que são unidimensionais e reducionistas (MARQUES *et al.*, 2020, p.1513).

Sendo assim, a Tabela 1 mostra os conteúdos que foram definidos e a sua carga horária de estudo, bem como os experimentos que foram selecionados a partir dos temas mencionados anteriormente.

Tabela 1 – Conteúdos e carga horária do curso de extensão

AULA	CONTEÚDOS	EXPERIMENTOS	TEMPO DE AULA (h)
1	Óleos Essenciais	Extração de óleo essencial	3
2	Corantes Naturais	Extração de corante natural	3
3	Biodiesel	Transesterificação de óleo residual	3
4	Sabão	Saponificação de óleo residual	3
5	Métricas em QV	----	3
Trabalho Final			5
Total			20 h

Fonte: BRANDÃO, 2022.

A experiência da primeira turma

No início da primeira aula, os alunos foram questionados sobre o que entendiam a respeito de QV e, como forma de analisar seus conhecimentos prévios, eles fizeram um primeiro mapa mental, no qual expressaram as suas ideias.

A Figura 1 apresenta uma nuvem de palavras construída a partir dos termos escritos pelos discentes em seus mapas, e por meio da plataforma online *Mentimeter*¹. Essa constitui-se em uma representação visual de palavras, considerando a sua relevância e frequência no material analisado. Desta forma, aquelas escritas com letras maiores na nuvem são as que tiveram frequência maior na pesquisa.

Figura 1 – Nuvem de palavras sobre QV no início do curso.



Fonte: BRANDÃO, 2022.

Embora os discentes tenham afirmado não saber do que se tratava, a nuvem de palavras mostra que o termo “Química Verde” remeteu a assuntos pertinentes ao tema e que eram previamente conhecidos por eles, como meio ambiente, natureza e orgânica. Apesar de o sentido de QV não se reduzir a essas palavras, esse foi o panorama inicial apresentado pela turma.

1. Disponível em <<https://www.mentimeter.com/pt-BR>> Acesso em: 21 de 2023

Após a construção do mapa, foi apresentada a definição de QV proposta por Anastas e Warner (1998), amplamente citada na literatura e marcante sobre a sua origem que, por sua vez, foi apresentada aos estudantes por meio de um breve contexto histórico, demarcado por eventos de relevância mundial sobre as questões ambientais, destacando-se a elaboração da Agenda 2030 e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Nessa discussão inicial, os alunos demonstraram mais interesse e certa ansiedade em estudar o tema. Nesse momento, aproveitou-se para discutir sobre duas palavras que tiveram bastante destaque na nuvem: sustentável e sustentabilidade.

Apesar dos termos sustentável e verde serem utilizados para definir determinados processos e produtos, eles não são sinônimos. A definição de QV tem um caráter técnico de desenhar novas rotas menos poluidoras e que gerem produtos mais seguros e, por isso, é considerada por muitos autores como uma possibilidade para o alcance da sustentabilidade (MARQUES *et al.*, 2013; ANASTAS; ZIMMERMAN, 2019; MARCELINO; MARQUES; SJÖSTRÖM, 2019, SANDRI; MARQUES, 2021). Entretanto, não é necessariamente sustentável, uma vez que, não há garantia de que todas as dimensões da sustentabilidade sejam cumpridas a partir desta técnica.

Por outro lado, essa nova forma de pensar os processos produtivos tem ampliado o entendimento acerca da QV, no sentido de superar o caráter estritamente técnico. Deste modo, a sua relação com a sustentabilidade tem sido discutida, em vista de se incorporar aos critérios de sustentabilidade e dialogar com os ODS.

Em seguida, levando-se em consideração que os 12 princípios da QV têm seu cerne nos processos industriais, utilizou-se a descrição de um processo de produção industrial de etanol como estratégia de apresentação desses princípios ao longo do curso. Sendo assim, na sequência da primeira aula, os alunos assistiram ao primeiro episódio de uma série de vídeos² produzidos pela Petrobras, disponíveis numa plataforma virtual. Foi solicitado que eles fizes-

2. Disponível em <<http://www.petrobras.com.br/etanol>> Acesso em: 21 fev 2023.

sem anotações sobre destaques, curiosidades e dúvidas em relação ao vídeo.

O processo de produção de etanol se inicia com o plantio da cana-de-açúcar, que é realizado pelos trabalhadores rurais e pressupõe cuidados com o solo. Desta forma, discutiu-se sobre a importância da legislação ambiental, que estabelece condições para o uso da terra, de modo a preservar cursos d'água e os ecossistemas naturais das regiões. Outros pontos de destaque foram a preparação do solo, que envolve o uso de componentes químicos e biológicos, e a relevância da rotação de culturas. Esta prática, além de diversificar o plantio, contribui para a conservação da terra e controle de pragas. De acordo com Franchini *et al.* (2011, p.11), “a ausência dessa prática acarreta o surgimento de alterações de ordem química, física e biológica no solo, que podem comprometer a estabilidade do sistema produtivo”.

Nesse contexto, destaca-se a importância dessa discussão como forma de ampliar a visão dos alunos sobre as possibilidades de aplicação dos conhecimentos científicos. Santos (2007) ressalta a necessidade de educar cientificamente para a cidadania no sentido de que os estudantes sejam capazes de participar de decisões democráticas sobre ciência e tecnologia. Desta forma, na segunda parte da aula, foram exploradas outras características relacionadas ao funcionamento de uma indústria, para além de seus processos químicos. Utilizando-se uma indústria produtora de suco de laranja como exemplo, discutiu-se sobre a geração de impactos sociais e ambientais, a partir de suas informações disponíveis na internet³.

Sendo assim, foram abordadas questões intrínsecas ao desenvolvimento de uma sociedade e outras impostas pelas demandas atuais do planeta, grande parte delas sumarizadas pelos ODS, como a geração de emprego; capacitação profissional; assistência à comunidade do entorno; inclusão de profissionais socialmente excluídos; produção de biomassa; sustentação da biodiversidade e geração de energia renovável, entre outros.

3. Disponível em <<http://www.citrosuco.com.br/sustentabilidade/projetos-ambientais/biomassa.html>> Acesso em: 21 fev 2023. 3.

Por fim, a produção do suco de laranja e o aproveitamento dos demais ingredientes provenientes dessa fruta foram itens de discussão. Assim como é possível realizar essa prática cotidianamente no processo de alimentação, por exemplo, na indústria também pode ser uma prática importante, pois agrega valor aos materiais aproveitados, podendo contribuir para a redução de gasto com matérias-primas e diversificar a matriz de fabricação de produtos, como de limpeza, higiene, beleza, tintas e solventes.

Destacou-se a importância da biodiversidade brasileira, que oferece uma variedade de biomassa com potencial para a geração de extensa gama de produtos, que fazem parte do cotidiano social. Nesse contexto, foi trazido à tona a discussão sobre a obtenção de óleos essenciais, em especial, o da casca da laranja.

Estes óleos “constituem uma matéria-prima de grande importância na área industrial, utilizados na produção de cosméticos, indústria farmacêutica e alimentícia, sendo geralmente os componentes de ação terapêutica das plantas medicinais” (SILVA *et al.*, 2014, p.145). A sua obtenção pode ocorrer de diferentes formas, entre elas: destilação por arraste a vapor, hidrodestilação e extração por solventes. O óleo essencial da laranja é constituído por substâncias voláteis e, por isso, o método mais indicado seria o arraste a vapor (SILVA; BOCCHI; FILHO, 1990). Entretanto, em virtude da limitação de aparelhagem para destilação do laboratório de Química e para que todos os estudantes pudessem realizar efetivamente a prática experimental, optou-se por realizar a extração por solventes.

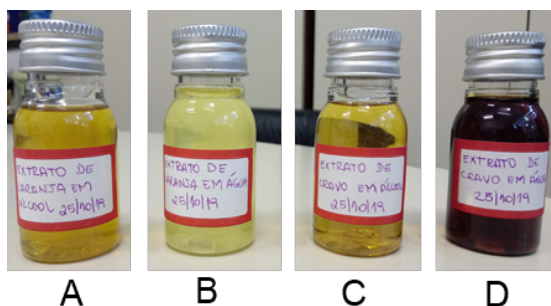
Inicialmente foram explicados o caminho para a elaboração de um inventário de substâncias químicas e as etapas do procedimento experimental. Sendo assim, os estudantes foram apresentados ao mecanismo de investigação de dados dessas substâncias, a partir da análise das Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Em seguida, os alunos foram solicitados a confeccionarem uma tabela contendo informações sobre inflamabilidade, reatividade e os riscos das substâncias para a saúde e o meio ambiente, visto que esses dados são fundamentais para a análise do cumprimento de alguns princípios da QV, como o que se refere a prevenção de acidentes.

Nesse sentido, as FISPQ podem ser utilizadas como um instrumento de segurança química, pois possuem informações relevantes quanto à segurança, à saúde e ao meio ambiente, que são essenciais para a execução segura de um experimento. Desta forma, discutiu-se sobre a importância de se portar com seriedade no espaço do laboratório, fazendo uso adequado dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e manipulando vidrarias e materiais de modo responsável.

Após, iniciou-se efetivamente o procedimento experimental. A técnica da extração do óleo essencial da laranja foi realizada utilizando-se etanol e água como solventes, possibilitando a discussão sobre o princípio do uso de solventes seguros. E, para ampliar o estudo sobre solubilidade, realizou-se também a extração do óleo essencial do cravo-da-índia. O procedimento pode ser feito a quente ou a frio, no entanto, levando-se em consideração o princípio 6 da QV sobre eficiência energética, que prioriza a execução de experimentos a temperatura ambiente, realizou-se o processo a frio.

As matrizes vegetais ficaram em contato com os solventes por quatro dias e após a filtração, os diferentes extratos foram armazenados em frascos (Figura 2) e comparados pelos estudantes na última aula do curso. Devido à limitação de tempo, optou-se por não realizar o processo de isolamento dos óleos.

Figura 2 – Extratos de casca de laranja e cravo-da-índia em diferentes solventes: (A) Laranja/etanol; (B) Laranja/água; (C) Cravo/etanol; (D) Cravo/água.



Fonte: BRANDÃO, 2022.

Os alunos observaram que os extratos A e D foram os mais concentrados, porém em solventes diferentes. Deste modo, discu-

tiu-se sobre a técnica empregada basear-se na separação por solubilidade dos compostos no solvente e que, por conta disso, provavelmente outras substâncias teriam sido extraídas no processo, além dos óleos.

Na sequência, analisaram-se as ligações químicas presentes nas estruturas dos solventes utilizados, destacando-se o fato de que a polaridade das moléculas é característica fundamental para a compreensão dos diferentes graus de solubilidade. Sendo assim, os alunos propuseram como explicação a presença de substâncias mais polares no cravo do que na casca da laranja, visto que o etanol é menos polar do que a água.

Para ampliar um pouco mais o estudo, foi solicitado aos alunos que pesquisassem sobre as fórmulas estruturais dos principais constituintes dos óleos essenciais extraídos. Durante o estudo, os discentes verificaram que o limoneno – obtido da casca da laranja – é um composto apolar e, portanto, mais solúvel em etanol, enquanto o eugenol – obtido do cravo – possui um grupo hidroxila que aumenta a sua polaridade, facilitando, então, a extração em água.

Na segunda aula, a mesma técnica experimental foi empregada, porém para a obtenção de corantes naturais. O uso destes em substituição aos corantes sintéticos tem sido bastante estimulado, principalmente, devido às suas características mais sustentáveis. Muitas indústrias utilizam corantes sintéticos em sua produção, como a têxtil, alimentícia e de papel, por exemplo. Entretanto, esses processos são responsáveis pela alta geração de efluentes que, sem o devido tratamento, podem causar efeitos nocivos ao meio ambiente, como: diminuição do oxigênio dissolvido, eutrofização, obstrução da passagem de luz nos corpos d'água, entre outros (RUIZ; GIRALDO, 2009).

Nesse sentido, além do uso de corantes naturais contribuir para a formação de resíduos menos perigosos – primeiro princípio da QV – sua técnica de obtenção pela extração é mais segura, pois não envolve síntese com reagentes considerados perigosos. Entretanto, os corantes sintéticos são mais amplamente comercializados, pois são mais estáveis, “mais acessíveis financeiramente e possuem

melhor rendimento em baixas concentrações em comparação aos demais tipos de corantes” (PENNA *et al.*, 2021, p.14-15). Desta forma, discutiu-se com os estudantes sobre a necessidade de analisar a fabricação de um produto sob diferentes aspectos. A utilização de técnicas mais verdes é uma demanda do planeta, porém, a viabilidade econômica de produção e consumo é um dos pilares das atividades sustentáveis.

Sendo assim, iniciou-se a realização do experimento solicitando aos alunos que fizessem o inventário das substâncias e, em seguida, executaram-se as etapas do procedimento, como feito na aula anterior. Foram utilizados o urucum (*Bixa orellana*) como matriz vegetal e etanol como solvente. Na última aula, o corante foi filtrado e foi feito um estudo sobre as características das substâncias responsáveis pela coloração observada.

Os alunos pesquisaram sobre as estruturas químicas dos principais constituintes da semente do urucum, bixina e norbixina, e o conceito de solubilidade foi novamente discutido. Para estender o estudo dos conteúdos químicos, estudou-se sobre as funções orgânicas presentes nesses compostos (ácido carboxílico e éster) e o tipo de cadeia carbônica. A existência de insaturações ao longo das cadeias faz com que atuem também como agentes antioxidantes, fato que expande sua aplicação na indústria alimentícia. Além disso, de acordo com Fabri e Teramoto (2015, n.p.), o corante do urucum apresenta baixo custo de produção e seu mercado “corresponde a aproximadamente 90% do total do consumo de corantes naturais no país e em torno de 70% de corantes naturais no mundo”.

Na segunda aula, os discentes também assistiram ao segundo episódio da série de produção industrial do etanol. Esse capítulo abordou as características da colheita mecânica, que possibilita colher toneladas de cana-de-açúcar por dia. Alguns alunos promoveram uma discussão sobre as diferenças entre o trabalho manual e o mecânico, ressaltando que o primeiro se constitui em prática bastante exaustiva, enquanto o segundo exige maior aptidão do trabalhador. Nesse contexto, falou-se sobre a importância da qualificação para o mercado de trabalho que remunera melhor

e promove menos estresse físico, ou seja, mais saúde e bem-estar, que são objetivos sustentáveis.

O episódio seguinte tratou das etapas de transformação da cana-de-açúcar em etanol e marcou o início da terceira aula. Os estudantes fizeram suas anotações e os destaques da discussão foram: o uso de equipamentos de segurança para atuar na planta industrial, o aproveitamento dos subprodutos do processo e a queima do bagaço de cana para gerar energia. Novamente, ressaltou-se a necessidade do uso de EPI como forma de assegurar a integridade física do trabalhador e evitar a ocorrência de acidentes.

Além disso, discutiu-se sobre alguns subprodutos serem aproveitados como fertilizantes para o plantio da cana, retornando ao início do ciclo de produção. O uso de biomassa residual faz parte da transição da economia linear para a economia circular e, além de reduzir os impactos ambientais, constitui-se em atividade lucrativa. A economia circular se baseia na inteligência do planeta e se utiliza do conceito do berço ao berço, no qual os resíduos tornam-se insumos, ou seja, “propõe que o valor dos recursos extraídos e produzidos seja mantido em circulação por meio de cadeias produtivas integradas” (SEHNEM; PEREIRA, p.36, 2019).

Entretanto, é importante destacar que a economia circular também apresenta limitações. Termodinamicamente sempre há degradação material e energética durante processos fora do equilíbrio, logo é possível melhorar a circularidade da nossa economia, mas ela nunca será perfeita (MARQUES; MACHADO, 2014)

Ainda em relação ao aproveitamento integral da matéria-prima, abordou-se outra questão essencial dos processos industriais: a energia que alimenta o funcionamento da planta industrial que, nesse caso, é gerada a partir da queima do bagaço da cana. Este foi um ponto importante de discussão, visto que a demanda de energia mundial está em crescimento. O uso de biomassa da cana-de-açúcar, além de tornar as usinas autossuficientes, é usado para comercialização, tendo grande relevância no cenário brasileiro (GARCIA; VILPOUX; CEREDA, 2021).

Nesse sentido, foi explorado o fato de que essa energia advém de um recurso renovável – princípio 7 da QV. De acordo com a Resenha Energética Brasileira (BRASIL, 2020), a oferta interna de energia apresentou um aumento na participação das fontes renováveis, representando quase metade da energia necessária para movimentar a economia de uma região, em 2019. Isso mostra que o país tem investido na diversificação da sua matriz energética, diminuindo a exploração de recursos não-renováveis, dos quais o petróleo encontra-se em posição majoritária.

Sendo assim, foram apresentadas as principais limitações do uso de combustíveis fósseis, como o custo de produção e o aumento da poluição ambiental, fatores que contribuem para o investimento na produção de biocombustíveis, cujas matérias-primas são obtidas de recursos renováveis e, assim, iniciou-se a discussão sobre o procedimento experimental da aula – produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura.

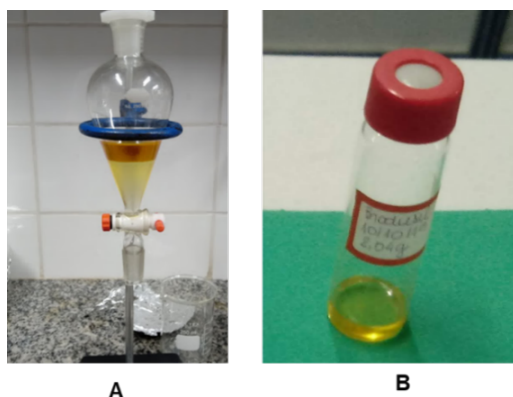
Os estudantes fizeram o inventário dos produtos químicos a serem utilizados, tendo a sua atenção despertada para a manipulação do hidróxido de sódio. Aproveitou-se a oportunidade para estudar sobre o uso desse composto como catalisador da reação. Ressaltou-se que a QV considera como princípio a não utilização de catalisadores, preferindo empregar reagentes catalíticos. Entretanto, o uso dessas substâncias constitui-se em fator de influência da cinética química das reações, podendo também ser seletivo e, por isso, a sua aplicação em alguns casos se torna essencial.

Além disso, os conteúdos das funções orgânicas álcool, ácido carboxílico e éster, foram retomados estendendo o estudo para os triglicerídeos, que são os principais constituintes dos óleos vegetais, e estudou-se sobre a reação de transesterificação para a produção do biodiesel. Ao final do processo reacional, os alunos transferiram a mistura para o funil de separação e deixaram em repouso por 24 horas. Foi solicitado que eles pesquisassem sobre a composição de cada fase observada para a próxima aula.

Desta forma, prosseguimos as etapas de separação e purificação do produto. Os estudantes notaram a ocorrência da reação ao

verificarem a diferença de cor entre as fases (Figura 3A) e apontaram a presença do biodiesel na fase superior e a glicerina na fase mais densa. Neste momento, eles foram questionados sobre o destino do catalisador e do excesso de etanol utilizado. Novamente foi levada à tona a discussão sobre solubilidade, destacando-se as estruturas químicas dos produtos formados, e os discentes concluíram que os resíduos se encontravam provavelmente na fase inferior, que foi, então, separada e armazenada em frasco coletor.

Figura 3 – Resultado da transesterificação de óleo usado:
(A) Produtos separados em fases; (B) Biodiesel.



Fonte: BRANDÃO, 2022.

Levando-se em consideração que o biodiesel era o produto desejado da reação, procedeu-se à etapa de purificação, ao adicionar certa quantidade de ácido inorgânico e lavar a fase com água. Mais uma vez os estudantes foram questionados sobre a necessidade de realizar esses passos e, a partir da discussão anterior, concluíram que se houvesse base residual, esta seria neutralizada pelo ácido, bem como resíduos de etanol e glicerina seriam removidos pelo contato com a água.

Após a adição do agente dessecante, recolheu-se o biodiesel, que foi armazenado em frasco coletor, como mostra a Figura 3B. Os estudantes demonstraram surpresa em relação à quantidade de produto obtida e, apesar de os aspectos estequiométricos da reação química não terem sido abordados por falta de tempo, analisou-se sob um viés qualitativo os fatores que poderiam ter contribuído para um baixo rendimento.

A discussão foi iniciada a partir da catálise homogênea básica para a produção de biodiesel, que é amplamente utilizada no setor industrial por apresentar alta e rápida taxa de conversão, em condições moderadas e de baixo consumo de energia, além de ser mais viável economicamente. Apresenta como inconveniente a não recuperação do catalisador. Entretanto, o emprego de catalisadores alcalinos, em reações cuja matéria-prima são óleos residuais, requer processos de pré-tratamento devido ao alto índice de ácidos graxos livres e à ocorrência de saponificação (HAJJARI *et al.*, 2017).

Em seguida, passou-se a discutir sobre a razão pela qual foi empregado o etanol como reagente: é uma substância menos perigosa do que o metanol e, portanto, mais verde, conforme o terceiro princípio da QV. De acordo com Günay, Türker e Tapan (2019), metanol e etanol são os reagentes mais empregados na produção de biodiesel por possuírem cadeias carbônicas curtas e, consequentemente, serem mais polares, porém devem ser utilizados em excesso. Além disso, o etanol é menos reativo em condições de temperatura mais amena podendo apresentar baixo rendimento de reação.

Por fim, encerramos o estudo ressaltando que, apesar das limitações (alta viscosidade, baixa demanda comercial e necessidade de álcool em excesso), o uso de óleos residuais como matéria-prima para a produção de biodiesel tem sido muito empregado, principalmente, em regiões onde não há abundância de fontes renováveis, tem custo mais baixo e porque o uso de oleaginosas comestíveis gera competição por áreas de terra dedicadas ao cultivo de culturas alimentares (AMBAT; SRIVASTAVA; SILLANPÄÄ, 2018).

Ainda na quarta aula, foi apresentado o episódio sobre a distribuição, o armazenamento e a análise de qualidade do etanol antes de chegar aos postos. Os alunos observaram que o produto passa por uma verificação que inclui avaliações qualitativas e quantitativas e certificação de qualidade para posterior envio. O etanol além de comercializado como combustível, também é adicionado à gasolina visando a melhorar a eficiência e a reduzir a quantidade de poluentes.

Foi pauta de discussão a quantidade de profissionais envolvidos no processo e em diferentes áreas de atuação, ou seja, muito além dos especialistas em Química; a dinâmica de precificação dos combustíveis, que depende da distância geográfica entre produtor e consumidor, da tributação por estado, além dos períodos de safra e entressafra e a distribuição mais sustentável por dutos.

Na última parte da aula, os discentes foram questionados sobre a glicerina obtida na síntese do biodiesel. Alguns fizeram menção de que achavam ser vendida em farmácias e, nesse contexto, iniciou-se uma conversa sobre o que fazer com coprodutos de uma reação. O princípio dois da QV sugere a realização de sínteses que não formem coprodutos; no entanto, nem sempre isso é possível. Logo, é fundamental pensar em possibilidades de aproveitamento desses materiais para que não se tornem resíduos.

Sendo assim, sugeriu-se incorporar a glicerina obtida ao processo de fabricação do sabão a partir de óleo residual de fritura. Os estudantes receberam o protocolo experimental, fizeram o inventário das substâncias e procederam as etapas. Novamente, ressaltou-se a importância da manipulação segura do hidróxido de sódio para evitar acidentes. Ao final do procedimento, o sabão foi posto em repouso e os alunos convidados a pesquisar para a aula seguinte sobre os aspectos do processo de secagem.

Passou-se, então, a estudar os conteúdos químicos que envolvem a reação de saponificação. Como já havia sido caracterizado o grupo funcional dos triglicerídeos, concentrou-se a explicação na classificação da reação orgânica e nos produtos resultantes. Desta forma, os discentes aprenderam sobre sal orgânico como nova função e perceberam que a glicerina também é produto da saponificação, não havendo necessidade, portanto, de separação. A aula foi finalizada discutindo-se sobre as características da estrutura química do sabão: as partes hidrofílica e hidrofóbica promovem interações químicas com a água e as moléculas de gordura, fazendo com que sejam removidas da superfície.

Na última aula, os alunos puderam perceber o sabão mais consistente e apresentaram os resultados da sua pesquisa sobre a

importância do processo de secagem, tanto para a remoção da água quanto para a redução da basicidade. Destacou-se que essa é uma reação que ocorre com excesso de hidróxido e pode ter a sua taxa de conversão influenciada pela agitação manual. Nesse sentido, conversou-se a respeito de o sabão produzido no laboratório não ser apropriado para uso na higiene pessoal e, quanto maior for o período de secagem, menor a sua alcalinidade, pois a base continua em contato com o óleo que não reagiu.

A seguir, assistiu-se o penúltimo capítulo da série sobre o etanol, que abordou a produção deste álcool de segunda geração, ou seja, a partir de resíduos agroindustriais. Foram apresentados os resultados obtidos utilizando-se o bagaço da cana, que possui matéria capaz de ser transformada em açúcares, cujo processo de fermentação com microrganismos apropriados dão origem ao etanol. Tendo em vista que o episódio foi gravado em um centro de pesquisa e com depoimentos de profissionais pesquisadores, destacou-se a importância da pesquisa para o desenvolvimento científico e tecnológico de uma sociedade, uma vez que auxilia a resolução de problemas, aperfeiçoa projetos e gera novas descobertas, dentre outras razões. Considerou-se o momento oportuno para ressaltar a influência das características presentes nas dimensões humana e social das práticas científicas (AIKENHEAD, 2009): crenças e valores, além do modo como se dão as relações interpessoais, são atributos inerentes do ser humano que influenciam o modo de pensar e o fazer científico, da mesma forma que esses aspectos também contribuem para a promoção de mudanças tecnológicas.

Após essa conversa, os alunos finalizaram os processos de extração de óleo essencial e corante natural, cuja discussão foi apresentada anteriormente. Caminhou-se, assim, para a segunda parte da aula, na qual foi promovida uma revisão sobre os assuntos abordados que culminou na descrição dos princípios da QV. Deste modo, mostrou-se uma possibilidade de avaliar sistematicamente a verdura química – grandeza denominada por Adélio Machado (2014) para medir o quão verde são os processos químicos – dos protocolos experimentais, por meio da construção das matrizes verdes.

Essa métrica baseia-se na análise SWOT (*Strengts* – pontos fortes; *Weaknesses* – pontos fracos; *Opportunities* – oportunidades e *Threats* – ameaças), e se divide em duas análises: interna e externa (MACHADO, 2014). A primeira avalia os pontos fortes e fracos que, no caso da verdura química de um experimento, corresponde ao cumprimento ou não dos princípios da QV. Essa avaliação depende das características e dos riscos de todas as substâncias envolvidas no procedimento. A análise externa ocupa-se de identificar os fatores que influenciam esses pontos. Aqueles que contribuem para a satisfação do princípio são considerados oportunidades e os que dificultam são as ameaças.

Para verificar o cumprimento ou não dos princípios da QV e assim identificar os pontos fortes e fracos dos roteiros experimentais avaliados, os alunos compreenderam que seria necessário utilizar as informações contidas nos inventários das substâncias que eles elaboraram ao longo do curso. Além disso, foi explicado que os experimentos que envolvem reações químicas não avaliam os princípios 4 (obtenção de produto seguros) e 11 (análise em tempo real para a prevenção), assim como as atividades sem reação química não avaliam os princípios 2 (economia atômica), 3 (sínteses menos perigosas), 8 (menos derivatizações) e 9 (uso de catalisadores).

Após apresentar o modo de elaboração das matrizes verdes e esclarecer as dúvidas, os grupos de estudantes de cada bancada foram convidados a escolher um dos experimentos executados no curso e analisar o seu protocolo sob a perspectiva das métricas holísticas, que são assim denominadas por considerarem os aspectos químicos, ambientais e energéticos em conjunto e a partir de uma visão global e dinâmica (MACHADO, 2014).

Devido à reduzida disponibilidade de tempo, optou-se por construir apenas a matriz verde. Três grupos decidiram avaliar o procedimento da extração do corante natural do urucum e os outros dois escolheram a transesterificação do óleo residual de fritura.

Logo no início os discentes demonstraram insegurança para concluir sobre o cumprimento ou não dos princípios. Eles perceberam que, apesar de existirem critérios cuja análise culmina na

identificação dos pontos fortes e fracos, esta possui um caráter muito subjetivo. Além disso, nem sempre é possível obter todas as informações sobre a natureza das substâncias envolvidas. Portanto, a ferramenta apresenta limitações. Discutiu-se, então, sobre a complexidade da verdura química, que dificulta a existência de uma métrica única para a sua análise. Por isso, para uma melhor avaliação do grau de esverdeamento de um procedimento experimental, é interessante combinar os resultados das análises de várias métricas.

Desse modo, os estudantes explicitaram as suas dúvidas e, em conjunto, foram construídas as duas matrizes verdes, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Matrizes verdes elaboradas pelos participantes do curso.

Extração do corante natural		Transesterificação de óleo residual	
Pontos Fortes	Pontos Fracos	Pontos Fortes	Pontos Fracos
P6 – Pressão e temperatura ambiente. P7 – Uso de matérias-primas renováveis. P10 – Uso de substâncias degradáveis.	P1 – Produção de resíduos de alto risco. P5 – Solvente com risco alto para a saúde. P12 – Risco elevado de acidente químico.	P6 – Pressão e temperatura ambiente. P7 – Uso de matérias-primas renováveis. P8 – Não se utilizam derivatizações. P10 – Uso de substâncias degradáveis.	P1 – Produção de resíduos de risco elevado. P2 – Excesso de reagente. P3 – Substâncias com riscos elevados para saúde. P5 – Substância auxiliar com risco elevado para a saúde. P9 – Usa-se catalisador. P12 – Elevado risco de acidente químico.
Oportunidades	Ameaças	Oportunidades	Ameaças
-Utilizar outro solvente sem risco.	Provocar acidentes.	-Pesquisar substâncias para substituir as perigosas. - Diminuir os reagentes. - Trocar o solvente.	- Não pode eliminar o catalisador. - Impossibilidade de usar recursos renováveis.

Fonte: BRANDÃO, 2022.

Os grupos chegaram à mesma conclusão em relação aos pontos fortes e fracos dos procedimentos analisados e apontaram algumas oportunidades e ameaças distintas, que foram agrupadas na tabela. A discussão dos resultados ocorreu em uma perspectiva teórica, visando perceber sobre como os estudantes compreendem esse modo de avaliação da verdura química.

Em relação à extração do corante, os estudantes avaliaram o procedimento em 50% verde, pois consideraram o não cumprimento dos princípios 1, 5 e 12 devido ao uso do etanol como solvente, por ser uma substância inflamável. Sendo assim, sugeriram a substituição desse solvente por outro de menor risco, oportunidade bastante pertinente, porém apontaram a ocorrência de acidente como uma ameaça. Ressaltou-se que esta é um fator que impossibilita a realização da oportunidade, ou seja, a análise externa da matriz verde não ficou clara para os discentes. Além disso, destaca-se que caberia a interpretação sobre a manipulação do etanol acarretar apenas risco de acidente e não para a saúde e o meio ambiente e, desta forma, os princípios 1 e 5 poderiam ser considerados pontos fortes.

O processo de obtenção do biodiesel foi considerado 40% verde. Dentre os pontos fortes, chama a atenção o cumprimento do princípio 7, no qual os estudantes consideraram renováveis todas as matérias-primas utilizadas, provavelmente, porque levaram em consideração apenas os reagentes, excluindo o catalisador. Em relação aos pontos fracos, apontaram a formação de resíduos perigosos, entretanto, a adição de ácido clorídrico tem a função de neutralizar a base, modificando essa situação. Por fim, indicaram o não cumprimento do princípio 3, supostamente por considerarem o etanol com risco elevado para a saúde e/ou ambiente.

Essa análise mostrou a necessidade de dedicar mais tempo ao estudo dos princípios, mesmo entendendo que essa é uma discussão que não se esgota, pois, cada procedimento experimental é único e, portanto, guarda características próprias, enquanto a descrição dos princípios possibilita algumas interpretações que acarretam limitações à métrica, como afirma Machado (2014).

Por fim, levando em consideração que a QV é considerada uma possibilidade para alcançar a sustentabilidade, foi solicitado que os estudantes fizessem individualmente o trabalho final, que consistiu na elaboração de um projeto de caráter sustentável em prol da escola, podendo ser desenvolvido no laboratório de Química ou não. Nesse sentido, os discentes foram orientados a justificar os seus trabalhos por meio da relação entre conceitos da QV estudados no curso e a proposta de projeto.

Dentre os vinte participantes, apenas sete entregaram os trabalhos, cujas informações encontram-se na Tabela 3. Acredita-se que os estudantes consideraram a tarefa complexa para ser realizada de modo individual e o esforço não compensaria, visto que, o certificado de participação não contribui para a conclusão do curso técnico na escola.

Tabela 3 – Projetos propostos pelos alunos da primeira turma do curso.

Título	Objetivo	Ensino Médio
Reutilização da água da chuva	Criar um mecanismo de coleta de água da chuva para irrigação do bosque.	Técnico em Eletrotécnica
Descarga com chuva	Reaproveitar a água da chuva para as descargas nos banheiros do CEFET/RJ.	Técnico em Eletrotécnica
Reciclagem de embalagem de quentinhas	Recolher as embalagens e vender para cooperativas de reciclagem, empregando a renda em projetos sociais.	Técnico em Eletrotécnica
Projeto catatampa	Juntar tampas de garrafas para serem trocadas por cadeiras de roda ou ração para animais.	Técnico em Eletrônica
Minha horta na escola	Reaproveitar restos de alimentos como nutrientes para uma horta.	Técnico em Eletrônica
Adubo a partir de lixo orgânico	Produzir adubo a partir do lixo da escola.	Técnico em Eletrônica
Aproveitamento de água proveniente de aparelhos de ar-condicionado	Utilizar a água proveniente dos aparelhos de ar-condicionado para a limpeza da instituição, irrigação do jardim e descarga sanitária.	Técnico em Eletrotécnica

Fonte: BRANDÃO, 2022.

A leitura mostrou que todos os assuntos abordados eram pertinentes e de acordo com a proposta de trabalho. No entanto, foram identificados alguns problemas como a construção de justificativas rasas para o projeto e metodologias incompletas para a sua implementação, cópia de ideias já desenvolvidas na escola e, ainda, um trabalho integralmente plagiado. Assim, percebeu-se que este tipo de avaliação carece de tempo maior do que o oferecido no curso para que os estudantes sejam melhor orientados acerca da sua elaboração, compreendendo a importância da pesquisa para a fundamentação do trabalho, a busca por fontes confiáveis, a necessidade de fazer citações corretamente e indicar a referência bibliográfica, dentre outros.

Por outro lado, de modo geral, considera-se que a abordagem de ensino utilizada no curso contribuiu para que os estudantes ampliassem a sua visão sobre o conhecimento científico para além dos conteúdos disciplinares, como o seu emprego para a promoção de intervenções que visem a sustentabilidade, e a avaliação de riscos e benefícios ao meio ambiente. Ao longo do curso eles foram muito ativos na realização dos experimentos químicos e na elaboração das atividades solicitadas. Entretanto, foram introduzidos em um universo extenso de novos conceitos em um curto espaço de tempo. A despeito desse fato, todas as fraquezas identificadas na primeira turma foram analisadas para que fossem superadas na turma seguinte.

Considerações finais

A QV originalmente desenvolvida para incrementar processos e produtos, vem buscando ao longo do tempo alcançar um caráter transformador, que foi estimulado neste trabalho no sentido de “ênfasis a participação e a ação como partes especialmente importantes da educação científica” (SJÖSTRÖM; EILKS, 2018, p.67).

Assim, o desenvolvimento do curso de extensão sobre QV para alunos do ensino médio e técnico, aqui apresentado, oportunizou estudar sobre: os doze princípios da QV; economia circular;

sustentabilidade; métricas verdes e uso de biomassa, dentre outros. Levando-se em consideração que tais conteúdos fazem parte da dinâmica social imposta atualmente, destaca-se a relevância de ter promovido discussões sobre esses assuntos, uma vez que, todos os indivíduos participam desse processo enquanto atores sociais.

Nesse sentido, foi possível perceber que o estudo de alguns processos de produção ampliou o entendimento dos estudantes sobre a influência das diversas variáveis que envolvem esses sistemas. Foi notável para eles, por exemplo, que o caminho mais verde nem sempre é o mais viável economicamente e isso torna frágil um dos pilares da sustentabilidade. A produção de corantes naturais, embora mais sustentável ambientalmente, apresenta o inconveniente de baixa estabilidade e isso afeta a ampla distribuição comercial. Do mesmo modo, o emprego de etanol e óleo residual de fritura para a geração de biodiesel, apesar de tornarem a rota de síntese mais verde, acarretam baixas taxa de conversão e demanda comercial. Por isso, a importância de estudar os conceitos científicos, pois promove mais esclarecimento e tende a conduzir tomadas de decisão mais adequadas.

Acredita-se que o pressuposto de estudar ciência, tecnologia e sociedade de modo interrelacionado, entendendo as influências mútuas existentes entre os termos, estabeleceu um caminho para que os conteúdos científicos emergissem dentro de um contexto, iniciando um processo de superação do ensino meramente propedêutico.

Ao longo das aulas foi possível perceber que a escolha de estudar a partir de temas sociais permitiu que os alunos apresentassem seus conhecimentos prévios acerca dos assuntos e estabelecessem novas relações de pensamento, à medida em que os novos conteúdos eram apresentados, amadurecendo suas ideias. Além disso, dentro do atual contexto ambiental é importante repensar o ensino dos conteúdos científicos nas escolas, no sentido de promover uma transição para um presente e um futuro sustentáveis, como afirmam González García, Blanch e Tallada (2021).

Tendo isso em vista, destaca-se que o desenvolvimento do curso de extensão possibilitou verificar a viabilidade de articular os conteúdos de Química previstos no currículo escolar com os conteúdos de QV. Essa articulação se fez de maneira muito natural, indicando que não é preciso escolher entre um e outro e, mesmo em escolas que privilegiam o ensino dos conteúdos disciplinares, é possível fazê-lo a partir de uma construção, superando o mito do conhecimento pronto e imutável.

No entanto, é preciso apontar que esse processo não é trivial, visto que, os currículos são seriados e preveem uma ordenação de conteúdo. Logo, a elaboração do percurso demandou esforço, preparação da docente e, principalmente, tempo de pesquisa. Neste trabalho, o uso de temas sociais foi fundamental para estabelecer essa articulação, de modo que os conteúdos químicos foram emergindo conforme a discussão acerca dos assuntos se desenvolvia. Destaca-se que a elaboração do curso teve como facilitador a não necessidade de seguir os conteúdos de Química previstos na ordem das séries, pois foi oferecido como atividade de extensão.

Outro aspecto importante do curso foi o uso da experimentação com o intuito de mostrar a relevância dos conteúdos. As aulas presenciais mostraram que a motivação inicial para as aulas de laboratório não sustenta o processo de ensino e aprendizagem, pois, embora aumente a curiosidade de estar no local e manipular substâncias e equipamentos, não estimula os estudantes a pesquisarem. De fato, é preciso contextualizar e problematizar os temas em questão para que os discentes se mantenham estimulados ao longo do processo, buscando questionar, pesquisar sobre suas dúvidas, compartilhar suas descobertas e suscitar discussões na turma.

Ainda nesse contexto, destaca-se o estudo das métricas verdes como forma de avaliar a veracidade química dos experimentos. Ao mesmo tempo em que facilitou a abordagem dos doze princípios de QV, viabilizou o estudo de tópicos de segurança química, à medida em que os alunos foram convidados a pesquisar as FISPQ dos produtos e investigar possíveis perigos para a saúde e o ambiente.

Em relação a avaliação de desempenho dos alunos, além da participação ativa nas discussões durante as aulas, os participantes da primeira turma tiveram a sua opinião, a respeito de QV, investida a partir da construção de mapas mentais, cuja análise foi feita por meio da elaboração de nuvens de palavras, que mostraram, de modo esperado, um aumento do número de termos relacionados ao tema, indicando que este teve seu conhecimento ampliado pelos alunos. Além disso, os projetos finais propostos pelos alunos mostraram total pertinência com a temática do curso.

Os trabalhos indicaram a capacidade de os estudantes aplicarem o conhecimento científico de modo prático em ações cotidianas, a partir da elaboração de projetos. Nestes, a interrelação apresentada entre esses aspectos aponta para um entendimento dos discentes sobre a importância desse diálogo na elaboração de propostas com caráter sustentável, sem esquecer a necessidade de respeitar os limites impostos por cada dimensão da sustentabilidade.

Nesse sentido, considera-se que a abordagem de ensino CTS foi fundamental para a construção e o progresso do processo de ensino e aprendizagem proposto. Além disso, acredita-se que o estudo de conceitos de QV articulados aos conteúdos de Química no ensino médio contribuíram para jogar luz sobre a importância de os estudantes criarem responsabilidade social frente as questões que envolvem o meio ambiente, além de exercitarem a prática de tomar decisões a respeito de assuntos sociotécnicos, por meio da articulação dos conhecimentos científicos estudados.

O modelo de ensino presencial empregado na primeira turma seguiu o que é oferecido pela própria instituição nos cursos de ensino médio e técnico integrado. Essa opção contribuiu muito para o processo de interação social entre os alunos e com a pesquisadora. A organização dos discentes em bancadas do laboratório estimulou a participação em grupo, o processo colaborativo para a realização dos experimentos, além de ressaltar a importância da segurança química e a sua influência sobre a condução adequada do experimento e a integridade física dos realizadores. Nesse sentido, destaca-se a oportunidade de perceberem que, apesar da existência de regras, normas e roteiros, a manipulação humana e a discussão sobre as

etapas dos procedimentos e as respostas obtidas influenciam os resultados e, conseqüentemente, as próximas decisões, processo que pode contribuir para minimizar a crença positivista sobre ciência.

Por outro lado, o curso presencial exigiu mais tempo dos estudantes na escola, fator que pode ser um limitante para futuros interessados, pois diminui a sua disponibilidade para atividades fora da escola, por exemplo, além de implicar em maior gasto com alimentação. Ao considerar a inscrição de alunos externos, é preciso levar em conta também o gasto e o tempo de deslocamento, fato que pode ter contribuído para a participação exclusiva de alunos da própria instituição na primeira turma. Ademais é preciso verificar também a disponibilidade e a capacidade do espaço do laboratório e dos insumos a serem utilizados.

Finalmente, é importante considerar a importância de realizar a transposição dessas aulas para as turmas regulares. Acredita-se que a organização dos conteúdos químicos no currículo é fundamental para o docente na preparação das aulas e articulação desses conteúdos com os conceitos de QV. Além disso, é essencial encontrar uma abordagem de ensino favorável e adequada, bem como disseminar entre os pares a necessidade de um ensino de Química voltado para a compreensão de mundo.

Tendo isso em vista, espera-se que os resultados dessa pesquisa possam contribuir para a prática de outros docentes e que, ao longo do tempo, o ensino de Química seja cada vez mais pautado nos conceitos de QV.

Referências

AIKENHEAD, G. S. Research into STS Science education. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 1, 2009.

AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPÄÄ, M. Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.90, p.356-369, 2018.

ANASTAS, P.T.; WARNER, J.C. **Green Chemistry: theory and practice**. Oxford University Press: Oxford, 1998.

- ANASTAS, P.T.; ZIMMERMAN, J.B. The periodic table of the elements of green and sustainable chemistry. **Green Chemistry**, v.00, n.1-3, p.1-21, 2019.
- ANDRADE, R.S.; ZUIN, V.G. A experimentação na educação em química verde: uma análise de propostas didáticas desenvolvidas por licenciandos em química de uma IES federal paulista. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.21, p.1-22, 2021.
- ANTAR, M.; LYU, D.; NAZARI, M.; SHAH, A.; ZHOU, X.; SMITH, D.L. Biomass for a sustainable bioeconomy: an overview of world biomass production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.139, p.1-18, 2021.
- AULER, D. Alfabetização científico-tecnológica: um novo “paradigma”? **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v.5, n.1, p.68-83, 2003.
- AULER, D. Articulação entre pressupostos do educador Paulo Freire e do movimento CTS: novos caminhos para a educação em ciências. **Contexto e Educação**, v.22, n.77, p.167-188, 2007.
- AULER, D., DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v.3, n.2, p.122-134, 2001.
- BAZZO, W. A.; LISINGEN, I. V. e PEREIRA, L. T. V. Introdução aos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). **Cadernos de Ibero América**. OEI - Organização de Estados Iberoamericanos para a Educação, a Ciência e a Cultura. Espanha: Madrid, 2003.
- BERLINCK, R.G.S.; BORGES, W.S.; SCOTTI, M.T.; VIEIRA, P.C. A química de produtos naturais do Brasil do século XXI. **Química Nova**, v.40, n.6, p.706-710, 2017.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, n.3, p.291-313, 2002.
- BORREDA, L.M.; VILCHES, A. Química Verde y Sostenibilidad em la educación en ciencias em secundaria. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.34, n.2, p.25-42, 2016.
- BORTOLETO, G.G.; GRAGNANI, J.G.; SILVA, L.F.; PINTO, R.M. Projeto B20-“Piracicaba no caminho da sustentabilidade”. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v.10, n.2, p.123-143, 2020.
- BRANDÃO, J.B.; BOUZON, J.D.; SANTOS, T.C.; PEREIRA, V. CHRISPINO, A. Mapeamento de publicações sobre o ensino da química verde no Brasil a partir de redes sociais. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.14, n.30, p. 59-76, 2018.
- BRANDÃO, J.B. **Ensino de Química verde no ensino médio e técnico com enfoque na experimentação e abordagem CTS**. (Tese) Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Brasil, 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p. 27833, 23 dez. 1996. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Educação e Desporto, Conselho Nacional da Educação. Câmara de Educação Básica. Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira. Brasília: MME, 2020.

CGEE. **Química verde no Brasil: 2010-2030** - Ed. rev. e atual. - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CORRÊA, A.G.; ZUIN, V.G.; FERREIRA, V.F.; VAZQUEZ, P.G. Green Chemistry in Brazil. **Pure Appl. Chem.**, v.85, n.8, p.1643-1653, 2013.

COSTA, D. A.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Uma revisão da bibliografia sobre o ensino da Química Verde. **Boletim da Sociedade Química Portuguesa**, n. 109, p.47-51, 2008.

EPICOCO, M.; OLTRA, V.; SAINT JEAN, M. Knowledges dynamics and sources of eco-innovation: mapping the green chemistry community. **Technological Forecasting & Social Change**, v.81, p.388-402, 2014.

FABRI, E.G.; TERAMOTO, J.R.S. Urucum: fonte de corantes naturais. **Horticultura Brasileira**, v.33, n.1, 2015, s/p.

FARIAS, L.A.; FAVARO, D.I.T. Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. **Química Nova**, v.34, n.6, p.1089-1093, 2011.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

GALIAZZI, M. C.; ROCHA, J.M.B.; SCHMITZ, L.C.; SOUZA, M.L.; GIESTA, S.; GONÇALVES, F. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. **Ciência e Educação**, v.7, n.2, p. 249-263, 2001.

GARCIA, M.S.; VILPOUX, O.F.; CEREDA, M.P. Arranjos institucionais na comercialização de energia elétrica de biomassa de cana-de-açúcar na região centro-oeste do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.59, n.3, p.1-21, 2021.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, v.10, n.2, p. 43-49, 1999.

GONÇALVES, F.P.; MARQUES, C.A. A problematização das atividades experimentais na educação superior em química: uma pesquisa com produções textuais docentes. **Química Nova**, v.34, n.5, p.899-904, 2011.

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. La dimensión ambiental de la experimentación en la enseñanza de la química: consideraciones sobre el uso de la métrica holística <<estrella verde>>. **Educación Química**, v.28, p. 99-106, 2017.

GONZÁLEZ GARCÍA, P.J.; BLANCH, M. E.; TALLADA, A.M. Vinculación de contenidos escolares con la Química Verde: voces de maestros de primaria y secundaria. **XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias**, p.1299-1302, 2021.

GÜNAY, M.E.; TÜRKER, L.; TAPAN, N.A. Significant parameters and technological advancements in biodiesel production systems. **Fuel**, v.250, p.27-41, 2019.

HAJJARI, M.; TABATABAEI, M.; AGHBASHLO, M.; GHANAVATI, H. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, n. January, p. 445-464, 2017.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

LEAL, A.L.; MARQUES, C.A. O conhecimento químico e a questão ambiental na formação docente. **Química Nova na Escola**, n.29, p.30-33, 2008.

LEMO, M.L.A.; SEIDL, P.R. GUIMARÃES, M.J.O.C. Biocombustíveis no Brasil Potencial e oportunidades do diesel verde. **Caderno de Química Verde**, ano 6, edição 88 especial, p.3-7, 2021.

LENARDÃO, E.J.; FREITAG, E.A.; DABDOUB, M.J.; BATISTA, A.C.F.; SILVEIRA, C.C. "Green Chemistry" – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v.26, n.1, p.123-129, 2003.

MACHADO, A. A. S. C. **Introdução às métricas da Química Verde**: uma visão sistêmica. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2014.

MANASSERO, M.A.M.; VÁZQUEZ, A.A. Instrumentos y métodos para la evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia, la tecnología e la sociedad. **Enseñanza de las Ciencias**, v.20, n.1, p.15-27, 2002.

MARCELINO, L. SJÖSTRÖM, J.; MARQUES, C.A. Socio-problematization of green chemistry: enriching systems thinking and social sustainability by education. **Sustainability**, v.11, n.7123, p.1-16, 2019.

MARCELINO, L.V.; PINTO, A.L.; MARQUES, C.A. Scientific disciplines in Green Chemistry. **Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication**, v.1, n.1, 2020.

MARQUES, C.A. Estilos de pensamento de professores italianos sobre a química verde na educação química escolar. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v.11, n. 2, p. 316-340, 2012.

MARQUES, C.A.; MACHADO, A.A.S.C An integrated vision of the green chemistry evolution along 25 years. **Foundations of Chemistry**, v.23, p.299-328, 2021.

MARQUES, C.A.; MACHADO, A.A.S.C. Una visión sobre propuestas de enseñanza de la química verde. **Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias**, v. 17, n.1, p.19-43, 2018.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. Environmental Sustainability: Implications and Limitations to Green Chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 16, n. 2, p.125-147, 2014.

MARQUES, C.A.; GONÇALVES, F.P.; YUNES, S.F.; MACHADO, A.A.S.C. Sustentabilidade ambiental: um estudo com pesquisadores químicos no Brasil. **Química Nova**, v.136 n. 6, p. 914-920, 2013.

MARQUES, C.A.; MARCELINO, L.V.; DIAS, E.D.S; RUNTZEL, P.L.; SOUZA, L.C.A.B.; MACHADO, A. Green chemistry teaching for sustainability in papers published by the journal of chemical education. **Química Nova**, v.43, n.10, p.1510-1521, 2020.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências?. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.16, n.3, p.725-748, 2016.

PENNA, A.C.G.; DURÇO, B.B.; MÁRSICO, E.T.; SILVA, A.C.O.; ESMERINO, E.A. Aplicabilidade de corantes naturais como alternativas ao uso de aditivos sintéticos em produtos lácteos. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v.2, n.2, p.13-33, 2021.

PINTO, A.C.; ZUCCO, C.; ANDRADE, J.B.; VIEIRA, P.C. Recursos humanos para novos cenários. **Química Nova**, v.32, n.3, p.567-570, 2009.

RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Novas métricas holísticas para avaliação da verduza de reações de síntese em laboratório. **Química Nova**, v. 9, n, 35, p. 1879-1883, 2012.

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D.A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da verduza de reações laboratoriais –“Estrela Verde”. **Química Nova**, v. 33, n, 3, p. 759-764, 2010.

ROLOFF, F. B. e MARQUES, C. A. Questões Ambientais na voz dos formadores de professores de Química em Disciplinas de cunho ambiental. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 549-555, 2014.

RUIZ, A.A.; GIRALDO, L.F.G. Remoción del colorante azoico amaranth de soluciones acuosas mediante electrocoagulación. **Revista Lassalista de Investigación**, v.6, n.2, p.31-38, 2009.

SANDRI, M.C.M.; MARQUES, C.A. O ensino da química verde: possíveis abordagens. **Encontro do Centro-Oeste de Debates sobre o Ensino da Química**, 2021.

SANDRI, M.C.M.; SANTIN FILHO, O. Análise da verduza química de experimentos propostos para o ensino médio. **Actio: Docência em Ciências**, v.2, n.2, p.97-118, 2017.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em educação em ciências**, v.2, n.2, 2002.

SANTOS, W.L.P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, v.1, n. especial, n.p., 2007.

SEHNEM S; PEREIRA, S.C.F. Rumo à economia circular: sinergia existente entre as definições conceituais correlatas e apropriação para a literatura brasileira. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v.18, n.1, p. 35-62, 2019.

SHAHID, E. M; JAMAL, Y. Production of biodiesel: a technical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.9, p.4732-4745, 2011.

SILVA, F. F. M.; MOURA, L. F.; BARBOSA, P. T.; FERNANDES, A. B. D.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A. Análise da composição química do óleo essencial de capim santo (*cymbopogon citratus*) obtido através de extrator por arraste com vapor d'água construído com materias de fácil aquisição e baixo custo. **HOLOS**, v. 4, p. 144-152, 2014.

SILVA, R.R.; BOCCHI, N.; ROCHA FILHO, R.C. **Introdução à Química Experimental**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

SJÖSTRÖM, J.; EILKS, I. **Reconsidering Different Visions of Scientific Literacy and Science Education Based on the Concept of Bildung**. In: DORI, Y.J.; MEVARECH, Z.R.; BAKER, D.R. (eds) *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education. Innovations in Science Education and Technology*, vol 24. (p.65-88). Springer, Cham., 2018.

SUMMERTON, L.; HUNT, A. J. e CLARK, J. H. Green chemistry for postgraduates. **Educación Química**, v. 24, p. 150-155, 2013.

ZANDONAI, D.P.; SAQUETO, K.C.; ABREU, S.C.S.R.; LOPES, A.P.; ZUIN, V.G. Química Verde e formação de profissionais do campo da química: relato de uma experiência didática para além do laboratório de ensino. **Revista Virtual de Química**, v.6, n.1, p.73-84, 2014.

ZUIN, V.G. A inserção da Química Verde nos programas de pós-graduação em Química do Brasil: tendências e perspectivas. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v.10, n.21, p.557-573, 2013.

ZUIN, V.G.; MARQUES, C.A. **Green chemistry education in Brazil: Contemporary tendencies and reflections at secondary school level**. In: ZUIN, V.G.; MAMMINO, L. (Eds.), *Worldwide trends in green chemistry education* (p. 27-44). Cambridge: RSC, 2015.

Apêndice 1: Ementa do curso de extensão

OBJETIVOS: Este curso tem por objetivo estudar sobre os conceitos da Química Verde a partir da experimentação química.

EMENTA: Desenvolvimento Sustentável. Definição de Química Verde. Experimentos Químicos. Segurança Química. Produtos naturais. Recursos renováveis. Biomassa. Biocombustíveis. Economia Circular. Os doze princípios. Métricas em Química Verde.

PÚBLICO-ALVO: estudantes do ensino médio e técnico.

CONTEÚDOS

1) Introdução

- Desenvolvimento Sustentável
- Definições de Química Verde
- Processos de produção industrial: exemplo de produção do etanol

2) Experimentos Químicos

2.1) Óleos Essenciais

Abordagem: indústria de suco de laranja (processos químicos, impactos socioeconômicos e ambientais); aproveitamento integral de matéria-prima; biomassa; segurança química.

Experimentos: extração por solvente do óleo essencial da casca da laranja.
Conteúdos Químicos: solubilidade; ligações químicas; polaridade da molécula e funções orgânicas (álcool).

2.2) Corantes Naturais

Abordagem: características dos corantes naturais e dos corantes sintéticos; segurança química.

Experimentos: extração por solvente do corante natural de urucum.
Conteúdos Químicos: solubilidade; funções orgânicas (ácido carboxílico e éster) e classificação de cadeia carbônica.

2.3) Biodiesel

Abordagem: produção nacional de biodiesel; impactos socioeconômicos; impactos ambientais; economia circular; biomassa; recursos renováveis e segurança química.

Experimentos: transesterificação de óleo residual de fritura via catálise homogênea básica.

Conteúdos Químicos: funções orgânicas (álcool, ácido carboxílico, éster), composição de óleos vegetais; reação de transesterificação; catálise homogênea básica; solubilidade e fatores que influenciam o rendimento de uma reação.

2.4) Sabão

Abordagem: aproveitamento de coprodutos; economia circular e segurança química.

Experimentos: saponificação com óleo residual de fritura.

Conteúdos Químicos: funções orgânicas (sal orgânico); reação de saponificação; polaridade da molécula e atuação do sabão.

3) Métricas em Química Verde

- Grau de esverdeamento ou verdura química;
- Os doze princípios da Química Verde;
- Métricas Holísticas (Matriz Verde);
- Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ);
- Segurança Química.

Apêndice 2: Protocolos dos Experimentos Químicos

- **Experimento 1** – Extração de óleo essencial⁴

Substâncias e Materiais: casca de laranja, cravo-da-índia, etanol e água.

Equipamentos e Vidrarias: Erlenmeyer (250 mL), proveta (50 mL), placa de aquecimento, espátula, funil de vidro, papel de filtro, suporte e argola, frasco coletor.

Procedimento 1: Transferir a casca de uma laranja para um erlenmeyer de 250 mL e adicionar 50 mL de etanol. Deixar em repouso por 4 dias e filtrar. Repetir o procedimento com cravo-da-índia.

Procedimento 2: Transferir a casca de uma laranja para um erlenmeyer de 250 mL e adicionar 50 mL de água. Deixar em repouso por 4 dias e filtrar. Repetir o procedimento com cravo-da-índia.

4. Adaptado do material suplementar de PIRES, T. C. M.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Extração do R-(+)-limoneno a partir das cascas de laranja: avaliação e otimização da ver- dura dos processos de extração tradicionais. Química Nova, v.41, n.3, p.355-365, 2018. Disponível em <<https://www.scielo.br/pdf/qn/v41n3/0100-4042-qn-41-03-0355-suppl1.pdf>> Acesso em: 28 mar 2021.

Discussão: Compare os resultados das extrações. Explique as diferenças observadas no uso dos solventes.

- **Experimento 2** – Extração de corante natural⁵

Substâncias e Materiais: urucum e etanol.

Equipamentos e Vidrarias: erlenmeyer (125 mL), béquer (100 mL), proveta (50 mL), espátula, funil de vidro, papel de filtro, suporte e argola, frasco coletor.

Procedimento: Adicionar um punhado da matriz vegetal em um erlenmeyer de 125 mL e, em seguida, adicionar 50 mL de etanol. A mistura deve ser agitada e posta em repouso por 3 dias para a extração do corante. A seguir, filtrar a mistura com papel de filtro e guardar em frasco coletor.

Discussão: Pesquise quais são as substâncias responsáveis pela coloração dessa espécie.

- **Experimento 3** – Transesterificação de óleo residual⁶

Substâncias e Materiais: óleo residual de fritura, etanol, CaCl_2 anidro, HCl e KOH

Equipamentos e Vidrarias: balão de fundo redondo (50 mL), béquer (50 mL), proveta (25 mL), proveta (10 mL), bastão de vidro, pipeta graduada (1 mL) e pipetador, funil de separação, argola, balança, suporte e garras, agitador magnético, espátula, tubo de ensaio e frascos de armazenamento.

Procedimento: Pesar, num balão de 50 mL, 16g de óleo residual. Pesar 0,24g (1,5% em peso do óleo) de KOH num béquer de 50mL. Dissolver o KOH em 17 mL de etanol. Adicionar ao balão, sob agitação magnética, a solução de hidróxido de potássio em etanol. Deixar a mistura sob agi-

5. Adaptado de DIAS, M. V.; GUIMARÃES, P.I.C.; MERÇON, F. Corantes Naturais: extração e emprego como indicadores de pH. Química Nova na Escola, v. 12, p. 27-31, 2003.

6. GOMES, S. M. S. Utilização dos conceitos da química verde na otimização das aulas práticas de química orgânica. 67f. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal do Rio de Janeiro, Caxias, 2017.

tação por 30 minutos. Transferir a mistura para um funil de separação e deixar o mesmo em repouso por 1 hora. Recolher a fase mais densa em um frasco. Adicionar 0,2 mL de HCl concentrado e lavar 3 vezes com 10 mL de água destilada, rotacionando o funil de decantação; não pode agitar vigorosamente. Transferir a fase orgânica para um tubo de ensaio e adicionar CaCl_2 anidro. Verter a fase orgânica, biodiesel, num frasco de armazenamento, previamente pesado.

Discussão: Pesquise e identifique quais são os componentes de cada fase.

- **Experimento 4 – Saponificação de óleo residual⁷**

Substâncias e Materiais: óleo residual de fritura, NaOH, água destilada e glicerina.

Equipamentos e Vidrarias: béqueres de plástico (250 mL), proveta (10 mL), bastão de madeira, balança e forma de silicone.

Procedimento: Pesar 20g de óleo residual de fritura em um béquer de plástico e reservar. Pesar 3,66g de NaOH em um béquer de plástico e adicionar aos poucos 10 mL de água sob agitação constante com o bastão de madeira. CUIDADO COM O CALOR E VAPOR LIBERADO NA DISSOLUÇÃO! Verter, aos poucos, a solução de NaOH para o recipiente com óleo e agitar com o bastão por um período de 30 minutos. Adicionar à mistura resultante a glicerina residual da produção do biodiesel. Despejar a mistura espessa numa forma de silicone e deixar secar por um período de 24-48 horas.

Discussão: Qual é a importância de deixar o sabão secar por um longo período?

7. Adaptado de ZAGO NETO, O. G.; PINO, J. C. D. Trabalhando a química dos sabões e detergentes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/AIQ_2011/saboes_ufrgs.pdf> Acesso em: 28 mar 2021.

Proposta didática para obtenção de ácido acetilsalicílico sob a perspectiva da Química Verde¹

Flávia de Mello

Juliana Aparecida Bolzan

Marilei Casturina Mendes Sandri

Sandra Inês Adams Angnes Gomes

Introdução

A Química é considerada uma Ciência de grande importância para a sociedade, pois a partir dela ocorre a inserção de diversos produtos essenciais à humanidade. No entanto, a inserção desses produtos acarreta na formação de subprodutos, que na maioria das vezes podem ser tóxicos e ocasionar a contaminação do ambiente e também dos seres humanos (PRADO, 2003). Devido a estes problemas, cresce a responsabilidade sobre as indústrias químicas, que são uma das principais fontes poluidoras, para que desenvolvam processos e materiais que possam ocasionar menor prejuízo ao ambiente (CLARK, 1999). Neste sentido, faz-se necessário um novo comportamento químico, tendo como finalidade a geração de menos resíduos e efluentes tóxicos durante os processos químicos industriais. Esta nova filosofia é conhecida como Química Verde, podendo ser definida como a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente (ANASTAS; WARNER, 1998). Existem atualmente os primeiros doze princípios da Química Verde e os chamados segundos doze princípios (MACHADO, 2012), que devem ser seguidos ao implantar esta filosofia na indústria ou na universidade.

1. Este artigo foi originalmente publicado na Revista Brasileira de Ensino de Química – ReBEQ, v.13, n.2, p.79-96, 2018

Considerando a grande problemática envolvida no consumo elevado de energia durante os processos químicos, e tendo consciência dos seus impactos ambientais e econômicos, destaca-se entre os princípios da QV, o 6º princípio – Busca pela Eficiência Energética, que visa, sempre que possível, conduzir os métodos energéticos a pressão e temperatura ambientes (PRADO, 2003; CORRÊA; ZUIN, 2012). Uma possibilidade, apontada em algumas bibliografias, é a substituição do aquecimento convencional por fontes de energias alternativas, como o ultrassom e as micro-ondas. Sob essa perspectiva, alguns autores consideram-na esta, uma opção viável (SANCHEZ; JERMOLOVICIUS; SENISE, 2012), com destaque para a vantagens na redução do tempo de reação, e em muitos casos, eliminação no uso de solventes orgânicos voláteis (PORTO, 2004). Os métodos convencionais também apresentam alguns benefícios, tendo em vista a fácil de manipulação e geralmente, baixo custo de investimento. Entretanto, tecnologias mais sofisticadas, como o micro-ondas, apresentam vantagem de redução considerável em volumes de solventes e a massa de material do produto desejado, o que acarreta na redução de resíduos, tornando este sistema uma alternativa viável ao ponto de vista da Química Verde (TSUKIU; RESENDE, 2014). Se tratando de vantagens, a rapidez aporta às sínteses possibilidades notórias de se acelerar a purificação e diminuir o tempo necessário para sua realização. Além de proporcionar aumento global no rendimento por se tratar de consequência direta desta etapa, a rapidez aplicada à purificação diminui a possibilidade de degradação do produto (MARQUARDT; EIFLER-LIMA, 2001). Neste contexto, busca-se maior comprometimento com o ensino, produção e aplicação da Química (LEAL; MARQUES, 2008). Assim, preveem-se estratégias que se beneficiem na busca da máxima eficiência dos processos químicos para obtenção de produtos, com minimização de custos energéticos e ambientais. Busca-se ainda, profissionais dispostos a trabalhar com questões ambientais, formadores de novos professores e químicos que podem ser inseridos em instituições, na forma de investigadores e disseminadores de conteúdos acerca da Química Verde.

Dentro desta perspectiva, é reconhecida a necessidade da inserção dos princípios da QV principalmente nos currículos universitários durante as aulas teóricas e experimentais, uma vez que o interesse neste tema e em seus materiais educacionais vem crescendo, tanto que a maioria das novas metodologias já se encontram em pleno desenvolvimento. Introduzir o conceito de QV no meio acadêmico estimula os futuros profissionais a elaborar metodologias inovadoras que busquem seguir os objetivos da Química Verde, acarretando benefícios para o meio ambiente (HJERESSEN et al., 2001).

O ensino e o desenvolvimento dos princípios da QV são realizados nas Instituições de Ensino Superior, principalmente de maneira experimental, onde se percebe que a maioria das aplicações são realizadas na disciplina de Química Orgânica (MARQUES; BISOL, 2012; ZANDONAI et al., 2014; MARQUES, 2012). Um bom exemplo a ser levado em consideração é a síntese da aspirina (ácido acetilsalicílico), muito empregada em aulas experimentais de Química, pois é considerada uma atividade experimental acessível e que permite abordar diversos conteúdos de Química Orgânica, tais como, reações de substituição nucleofílica acílica, acompanhada de técnicas laboratoriais clássicas, como ponto de fusão, filtrações e recristalização. Sendo assim, o objetivo deste manuscrito é apresentar a síntese convencional do ácido acetilsalicílico (AAS) e propor um experimento otimizado com aquecimento por irradiação com forno micro-ondas doméstico, como alternativa para ser desenvolvido em tempo reduzido em laboratórios com poucos recursos e equipamentos, obtendo-se bom rendimento e alto grau de pureza. Além disso, apresenta-se a análise da verduza Química dos experimentos propostos e possibilidades para melhorias através das métricas de massa, ao aferir a utilização eficaz dos átomos dos reagentes, a Eficiência Atômica (EA) e Fator E (FE) (COSTA, 2011), e as métricas holísticas, a Matriz Verde (MV) e a Estrela Verde (EV), que avaliam em globo um conjunto de características da verduza experimental (MACHADO, 2014).

Parte experimental

Síntese do ácido acetilsalicílico

O ácido acetilsalicílico foi convencionalmente sintetizado conforme método recomendado por Pavia (2009), com adaptações. O procedimento também foi adaptado para síntese sob aquecimento com irradiação com forno micro-ondas (ROSINI; NASCENTES; NÓBREGA, 2004). O método de Pavia foi selecionado, pois é comumente realizado em aulas de Química Orgânica no ensino superior. A adaptação do método por irradiação de micro-ondas foi empregada para se verificar possíveis melhorias no rendimento, tempo de reação e aumento de veracidade da reação. Na Tabela 1 são descritos os procedimentos experimentais selecionados para realização deste trabalho.

Tabela 1. Procedimentos experimentais para síntese do Ácido acetilsalicílico (AAS)

Protocolo Experimental 1
Síntese Convencional de AAS (ADAPTADO DE PAVIA, 2009).
Procedimento: 2,0 g de ácido salicílico (marca Synth, PM 138,1), 5,0 mL de anidrido acético, (marca Synth PM 102,1, d 1,08 g mL⁻¹), 0,5 gotas de ácido sulfúrico P.A. (marca Synth, PM 98,78, d 1,83), aquecimento por 20 minutos em banho-maria, temperatura 50 °C. Esfriar, adicionar 20 mL de água destilada e resfriar em banho de gelo. Recristalização: dissolução do AAS em 3 mL de etanol 96%, (marca Synth PM 46, d 0,8 g mL⁻¹), aquecimento suave (banho de vapor), adição de 20 mL de água após dissolução, filtrar a vácuo, secar em estufa a 40 °C por 2 horas. Alternativamente ao etanol, pode ser utilizado acetato de etila quente (não mais do que 2-3 mL). Teste de Pureza: teste com solução de cloreto de ferro III. (1) Teste branco, controle, apenas com o solvente. (2) Teste negativo com ácido salicílico (AS). (3) Teste com a amostra de AAS; Ponto de fusão (PF): determinação com aparelho de ponto de fusão da marca Electrothermal, com 2 a 3 mm da amostra de AAS em tubo capilar. Rendimento: determinação do rendimento percentual a partir da obtenção do ácido salicílico em triplicata, para cálculos de média, desvio padrão e desvio padrão relativo (RSD) (BACCAN, 2001).

Protocolo Experimental 2

Síntese do AAS por irradiação com forno de micro-ondas doméstico (ROSINI; NASCENTES; NOBREGA, 2004).

Procedimento: calibração do forno micro-ondas (descrito na sequência), 2,0 g de ácido salicílico (marca Synth, PM 138,1), 5,0 mL de anidrido acético, (marca Synth, PM 102,1, d 1,08 g mL⁻¹), 0,5 mL de ácido sulfúrico P.A. (marca Synth, PM 98,78, d 1,83) aquecimento em micro-ondas a 72 °C, em 50 segundos. Esfriar, adicionar 20 mL de água destilada e resfriar em banho de gelo ou em geladeira por um período de 24 horas. A metodologia de purificação, teste de pureza e o ponto de fusão foram realizados conforme o procedimento experimental 1.

Determinação da potência do forno micro-ondas

A calibração do forno micro-ondas foi feita de acordo com Rosini, Nascentes e Nóbrega (2004), em que foram marcadas 05 posições no prato giratório do forno, na seguinte disposição: um ponto no centro e quatro pontos distribuídos uniformemente em torno do ponto central. A posição de maior incidência de radiação do micro-ondas foi no centro do prato giratório, 449,73 W e o ponto com menor irradiação (370,94 W) foi na lateral direita do forno.

Produção de ácido acetilsalicílico e determinação do melhor tempo de aquecimento por irradiação micro-ondas

Conforme indicado no protocolo experimental 2 (Tabela 1), em um béquer de 100 mL, adicionaram-se 2 g de ácido salicílico, 5 mL de anidrido acético e 0,5 mL de ácido sulfúrico. O béquer contendo a mistura foi coberto com vidro de relógio e colocado no centro do prato giratório do micro-ondas, no qual o mapeamento indicou maior incidência de irradiação. Na posição 5 do prato giratório do forno (ponto de menor irradiação - na lateral direita do forno), colocou-se outro béquer com 250 mL de água para a absorção da radiação excedente (ROSINI; NASCENTES; NOBREGA, 2004).

Visando otimizar a síntese do AAS por micro-ondas, irradiou-se separadamente à máxima potência as 06 misturas reacionais nos tempos de 30, 40, 50, 60, 70 e 80 segundos. Ao finalizar cada síntese, a temperatura do meio reacional foi medida imediatamente utilizando um termômetro laser digital infravermelho. Cada béquer com AAS foi retirado cuidadosamente do forno de micro-ondas, onde adicionaram-se aproximadamente 20 mL de água deionizada, com posterior resfriamento em banho de gelo e deixado em repouso por aproximadamente 24 horas na geladeira.

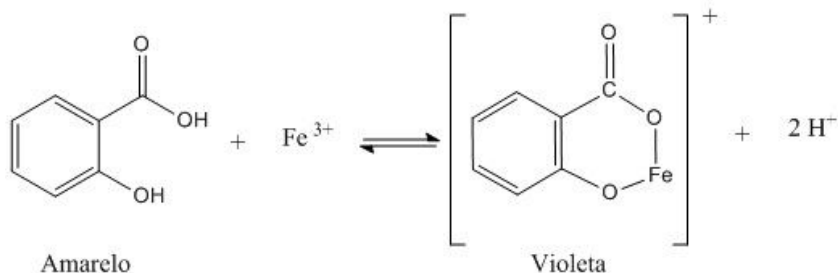
Purificação do ácido acetilsalicílico

Após a cristalização do AAS, iniciou-se o processo de purificação pela técnica de recristalização (PAVIA, 2009), que depende da diminuição de solubilidade de um sólido num solvente, ou mistura de solventes, em virtude do abaixamento da temperatura (PAVIA, 2009; GONÇALVES; WAL; ALMEIDA, 1988). Para evitar a decomposição do ácido acetilsalicílico pela água (reação de hidrólise), usou-se álcool etílico como solvente de recristalização com propriedade excelente de solubilizar o AAS a quente e cristalizar a frio, de uso comum em laboratório, baixo custo e atóxico (GONÇALVES; WAL; ALMEIDA, 1988).

Teste de pureza com cloreto férrico ($FeCl_3$)

O método descrito pela Farmacopeia Brasileira (2010), propõe para o teste de pureza com cloreto de ferro III ($FeCl_3$) a mistura de uma pequena quantidade da amostra de AAS com água e aquecimento por alguns minutos. Em seguida, deve-se resfriar e adicionar algumas gotas de $FeCl_3$. Nota-se coloração vermelho-violeta na presença de ácido salicílico, composto fenólico, que complexa com o cloreto de ferro III, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1. Reação do ácido salicílico com cloreto férrico



Fonte: As autoras (2023).

Métricas de massa da química verde

Cálculo da eficiência atômica e fator E

A eficiência atômica para a síntese convencional do AAS e para a síntese otimizada por micro-ondas foi calculada dividindo-se a massa do produto pela soma das massas dos reagentes utilizados na equação estequiométrica envolvida na síntese do AAS, conforme mostra a Equação 1 (TROST,1991).

$$\% EA_{exp} = \frac{\text{Massa do produto principal}}{\text{Massa total de todos os reagentes}} \times 100 \quad (1)$$

O Fator E foi calculado pela razão de massas entre a totalidade da massa de resíduo (produtos secundários) e a massa do produto obtido, conforme Equação 2 (TROST,1991).

$$\text{Fator E} = \frac{\Sigma \text{ das massas dos produtos secundários}}{\text{Massa do produto}} \quad (2)$$

Quanto maior o valor do Fator E, maior a massa de resíduo gerada e menos aceitável o processo, do ponto de vista ambiental (RAMOS, 2009).

Métricas holísticas de avaliação de verdura

As métricas holísticas baseadas nos primeiros 12 princípios da QV são preferíveis para avaliação intrínseca de reações, processos químicos, e demais pesquisas, e muito úteis e aplicáveis no ensino (RIBEIRO; MACHADO, 2012). A MV e a EV empregam como critérios apenas 10 princípios da QV aplicáveis ao experimento, o P4 e P11 – referentes ao desenho de produtos seguros e a análise em tempo real, respectivamente, não são considerados, já que no ensino não se costuma realizar a concepção de novos produtos químicos (MACHADO, 2014; SANDRI, 2016). Para experimentos de síntese, avaliam-se os 24 (vinte e quatro) critérios pré-estabelecidos e relacionados com os 10 princípios da QV (Tabela 2), já para os experimentos sem síntese avaliam-se somente 06 princípios (P1, P5, P6, P7, P10, P12). Os princípios da QV e os critérios para análise da verdura de experimentos para a construção da MV são apresentados na Tabela 2, conforme proposto por Sandri, Gomes e Bolzan (2018).

Tabela 2. Critérios de análise da verdura para a construção da Matriz Verde

Critérios de Análise		Pontos Fortes	Pontos Fracos
Princípio 1 – Prevenção	1. Riscos físicos	Substâncias sem indicação de risco físico	Substâncias com indicação de riscos físicos (Explosivo – E; Inflamável – F ou F+)
	2. Riscos à saúde	Sem indicação de risco à saúde ou risco baixo (Prejudicial – Xn; Irritante–Xi)	Substâncias com indicação de toxicidade (Tóxico – T; Muito Tóxico; Corrosivo (C)
	3. Riscos ao ambiente	Sem indicação de riscos para o ambiente (N)	Substâncias tóxicas ao ambiente (N)
	4. Geração de resíduos	Não se formam resíduos ou geram-se resíduos inócuos	São gerados resíduos e estes representam perigos físicos, à saúde ou ao ambiente
	5. Fator E ou Intensidade de Massa (MI)	Fator E ≤ 2 ou MI ≤ 3	Fator E > 2 ou MI > 3

P2- Economia Atômica	6. Uso de reagentes em excesso	Não utiliza	Utiliza
	7. % do excesso de reagente	$\leq 10\%$ de excesso	$> 10\%$ de excesso
	8. Economia Atômica (%)	$\geq 33,3 \%$	$< 33,3\%$
P3- Síntese de Produtos menos perigosos	9. Riscos físicos, à saúde ou ambientais decorrentes do produto principal obtido	O produto não representa qualquer tipo de riscos ou apresenta riscos baixos	O produto apresenta riscos físicos, a saúde ou ao ambiente, moderados ou severos
P5- Uso de solventes e outras substâncias auxiliares	10. Consumo de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais	Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos	Os solventes e/ou os auxiliares representam perigo moderado ou elevado para a saúde ou ambiente
	11. Consumo de água como solvente ou reagente	Consumo baixo ($V \leq 50$ mL)	Consumo > 50 mL
	12. Consumo de água como facilidade (resfriamento/ banhos)	Consumo baixo ($V \leq 200$ mL)	Com consumo elevado ($V > 200$ mL)
	13. Consumo de outros solventes além da água	Com consumo baixo ($V \leq 50$ mL)	Consumo > 50 mL
P6 – Eficiência energética	14. Consumo de energia	Realiza-se a temperatura e pressão Ambientes	Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes da do ambiente
P7 – Uso de substâncias renováveis	15. Utilização de substâncias renováveis	Todas as substâncias são renováveis	Pelo menos uma das substâncias não é renovável
P8. Evitar a Formação de Derivados	16. Uso de grupos bloqueadores, ou mudanças temporárias que geram resíduos	Não se faz necessário o uso de bloqueadores	Pelo menos uma etapa exige o uso de bloqueadores

9. Catálise.	17. Utilização de catalisador	Não se faz necessário	É necessário
	18. Tipo de catalisador (homogêneo/heterogêneo/biocatalisador)	Heterogêneo ou biocatalisador	Homogêneo
	19. Recuperação do catalisador	É possível recuperar	Não é possível recuperar
P10 – Planificação para a degradação	20. Uso de produtos degradáveis a produtos inócuos (não considerar a água)	Todos os reagentes usados são degradáveis ou tratáveis para a degradação	Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição
	21. Utiliza substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências ou recicladas após o uso	Utiliza	Não utiliza
P12 – Química intrinsecamente segura	22. Riscos de acidentes devido às substâncias envolvidas	No caso de substâncias (Xi, Xn ou sem indicação de riscos)	No caso de substâncias (T, T+, C, O, F, F+)
	23. Devido ao uso de equipamentos (centrífuga; estufa, mantas; evaporador rotativo, bomba de vácuo e banho termostatizado)	Com riscos baixos ou moderados	Com riscos elevados
	24. Devido ao uso de outros materiais comuns	Com riscos baixos ou moderados (vidrarias comuns, termômetros, densímetros, multímetros, etc)	Com riscos elevados (gás; fogões; bicos de bunsen; etc); termômetros de mercúrio

3.3 MATRIZ VERDE (MV)

A verdura Química da síntese convencional do ácido acetilsalicílico foi avaliada por meio da construção de Matrizes Verdes (Tabela 2). Elas se enquadram entre as métricas holísticas que permitem uma descrição sistêmica dos procedimentos, além de permitir avaliar as possibilidades de melhorá-los (MACHADO, 2014). Essa métrica baseia-se na análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*) para avaliação de cumprimento de objetivos pre-

viamente definidos. Nessa análise, após definidos os objetivos, identificam-se os pontos fortes (*Strengths*), fracos (*Weaknesses*), as oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) que se colocam ao cumprimento desses objetivos (COSTA; RIBEIRO; MACHADO, 2012). O conjunto dos pontos fortes e fracos corresponde à análise interna. É também efetuada uma análise externa, em que são avaliadas as implicações de imposições externas ao objeto, que permitem identificar as oportunidades, que podem tornar o objeto em análise mais forte, e as ameaças, que podem comprometer o sucesso dos objetivos estabelecidos (COSTA; RIBEIRO; MACHADO, 2012).

Estrela verde (EV)

Para a construção da EV, foi necessário avaliar o processo experimental da síntese do AAS e obter informações sobre: condições de pressão e temperatura a que se realiza (avaliado pelo princípio P6); averiguar a existência de reagentes estequiométricos em excesso (avaliado pelo princípio P2) e inventariar todas as substâncias presentes no processo: reagentes, produtos, subprodutos obtidos, catalisadores, solventes e resíduos formados. Para cada uma destas substâncias, recolhem-se informações acerca dos perigos para a saúde humana e ambiente (avaliado pelos princípios P1, P3, P5 e P9) e acidente químico (avaliado pelo princípio P12) usados na rotulagem das embalagens dos compostos; informações a respeito de serem constituídos ou derivados de matérias-primas renováveis, bem como sobre sua degradabilidade (avaliado pelos princípios P7 e P10) e necessidade de derivatizações ou de operações similares (avaliado pelo princípio P8) (MACHADO, 2014; ALMEIDA; RIBEIRO, 2013; RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010).

Após fazer o inventário de todos os reagentes, riscos e condições experimentais, constrói-se a EV, a partir das pontuações dos princípios, introduzidos em uma planilha do Excel programada (encontrada na plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura> disponível gratuitamente pela Universidade do Porto,

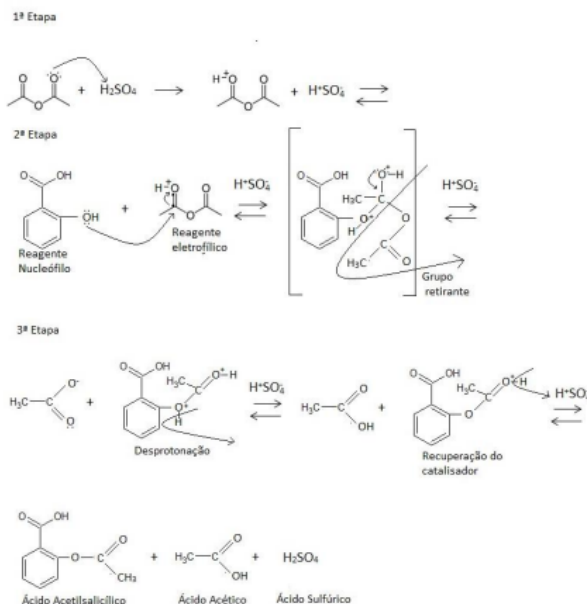
em Portugal), que traça automaticamente a estrela num gráfico (RI-BEIRO; MACHADO, 2012).

Resultados e discussão

Síntese e purificação do ácido acetilsalicílico

O AAS foi preparado através de uma reação de acetilação entre o do ácido salicílico com anidrido acético. Nesta reação, Figura 2, a hidroxila (-OH) fenólica do ácido salicílico reage com o anidrido acético para formar um grupo funcional éster. Esta reação exige a presença de um catalisador ácido ou básico. Quando a reação se completa, o ácido salicílico e o anidrido acético que não reagiram estarão presentes na mistura, juntamente com o ácido acetilsalicílico, o ácido acético e o catalisador (ATKINS; JONES, LAVERMAN 2018; SOLOMONS; FRYHLE, 2012).

Figura 2. Mecanismo de substituição nucleofílica acílica para obtenção o AAS



Fonte: As autoras (2023).

Ao recrystalizar o AAS obtido na reação, notou-se gradativamente a formação de cristais. O ácido acético formado na reação, o excesso de anidrido acético e ácido salicílico que não reagiu são solúveis no meio, em temperatura ambiente. Neste procedimento, o processo de cristalização foi facilitado pela adição de água após a formação dos cristais, pois a água reduz a solubilidade do ácido acetilsalicílico e dissolve parte das impurezas e o excesso de anidrido acético utilizado na reação (ATKINS; JONES, 1999).

Teste de pureza

Os resultados para a determinação da presença de ácido salicílico (AS) remanescente nas amostras de AAS com cloreto de ferro III podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Teste de pureza com FeCl_3 para identificação do ácido salicílico remanescente

Amostras de AAS	Solução de FeCl_3 1%	Cor	Cor
Amostra obtida por aquecimento convencional	Cristais da amostra + 1 mL etanol + 5 gts de FeCl_3 1%	Amarelo	(-)
Amostras 1, 2, 3 e 4 aquecimento por micro-ondas	Cristais da amostra + 1 mL etanol + 5 gts de FeCl_3 1%	Amarelo	(-)
Amostra 5 e 6 Aquecimento por micro-ondas	Cristais da amostra + 1 mL etanol + 5 gts de FeCl_3 1%	Violeta	(+)
*(-) resultado negativo para presença de AS. *(+) Resultado positivo para presença de AS.			

*(-) resultado negativo para presença de AS. *(+) Resultado positivo para presença de AS.

O AAS sintetizado a partir do aquecimento convencional; e as amostras 1, 2, 3 e 4 sintetizadas pelo uso de micro-ondas, não reagiram com o cloreto de ferro III (Tabela 3), resultando a teste negativo para detecção de ácido salicílico remanescente. A síntese de AAS das amostras 5 e 6 foram realizadas a 70°C e 80°C e levaram

a teste positivo para AS na presença de cloreto de ferro III, verificado mediante a mudança de cor amarelo para vermelho-violeta pela formação de um complexo fenólico colorido, conforme representado na Figura 1. Segundo Menegatti, Fraga e Barreiro (2001), temperaturas acima de 60°C, podem provocar decomposição por hidrólise, originando o ácido salicílico e o ácido acético, o que explica o teste positivo para as amostras 5 e 6.

Avaliação dos resultados do ácido acetilsalicílico obtido por aquecimento convencional

Na Tabela, 4 é possível observar os resultados do rendimento e ponto de fusão do AAS obtido por aquecimento convencional em 10 minutos a 50 °C.

Tabela 4. Resultados para síntese do AAS através de aquecimento convencional comparado a literatura

Amostra	Tempo (min)	Temp. (°C)	Rend. Exp. (%)	RSD	*Rendimento Literatura (%)	PF (°C) Exp.	**PF(°C) Literatura
AAS	20	50 ± 5,45	49,49 ± 0,82	1,66%	31,97 – 68,50	134 ± 0,33 C	135 °C

* BRUNETTI (2010).

** MENEGATTI; FRAGA; BARREIRO (2001); LOPES (2011); PAVIA (2009).

A partir do resultado obtido nas condições anteriormente mencionadas, nota-se que a reprodutibilidade da metodologia quando comparada à literatura (MENDES; PERUCH; FRITZEN, 2012; BRUNETTI, 2010; ROSINI, NASCENTES; NÓBREGA, 2004). O baixo rendimento deste tipo de reação pode estar relacionado à perda de eficiência atômica ao efetuar o aquecimento (baixa incorporação de átomos reagentes no produto final), temperatura não homogênea, perdas na filtração, ocorrência de reações paralelas, má atmosfera de trabalho e até mesmo más condições de material. Na literatura reportam-se diversos métodos para síntese do AAS,

com diferenças significativas em rendimentos. Por exemplo, Brunetti (2010) testou diferentes métodos e obteve os seguintes rendimentos: Pavia (1982) 31,97%, Gonçalves, Wal e Almeida (1988) 67,83%, Souza (1988) 60,19%, Seabra (1987) 68,42% e Minattinês et al. (2000) 28,95%. Esta dispersão de valores do rendimento de AAS, provavelmente está relacionada às diferentes condições experimentais de síntese e purificação indicadas nos protocolos.

Avaliação dos resultados do ácido acetilsalicílico obtido por irradiação micro-ondas.

A síntese do AAS por irradiação micro-ondas teve como principal objetivo propor uma forma mais eficiente de aquecimento, menor tempo de reação, uma reação mais verde com menores impactos ambientais e que possa tornar-se uma alternativa eficaz para ser realizada em disciplinas experimentais de Química. Na Tabela 5 são apresentados os resultados da síntese otimizada do AAS com diferentes tempos e temperaturas de aquecimento com radiações por micro-ondas.

Tabela 5. Aspirina sintetizada por irradiação micro-ondas em diferentes temperaturas de reação e seus referidos resultados de rendimento, EA, Fator E e pureza

Amostra AAS	Tempo (s)	T (°C)	RSD	Rendimento (%)	RSD	% EA	Fator E (kg)	PF Exp. (°C)
Amostra 1	30	53,97 ± 2,44	4,52%	64,77 ± 1,05	1,62%	22,68	11,19	132 ± 0,56
Amostra 2	40	61,93 ± 1,10	1,77%	63,71 ± 5,33	8,36%	22,60	11,39	129 ± 0,57
Amostra 3	50	72,00 ± 3,08	4,28%	69,20 ± 0,93	1,34%	24,62	10,41	135 ± 0,33
Amostra 4	60	68,83 ± 5,34	7,76%	64,10 ± 4,75	7,40%	22,97	11,32	128 ± 0,57

Amostra 5	70	84,27 ± 4,95	5,87%	68,48 ± 6,57	9,59%	24,74	10,53	128 ± 0,56
Amostra 6	80	91,20 ± 7,54	8,27%	69,58 ± 2,71	3,89%	25,46	10,35	127 ± 0,33

As amostras 3, 5 e 6 possuem os maiores valores de rendimento de reação [3 (69,20±0,93%, RSD 1,34%, EA. 24,62, Fator E. 10,41); 5 (68,48±6,57%, RSD 9,59%, EA. 24,74, Fator E 10,53) e 6 (69,58±2,71%, RSD 3,89%, EA. 25,46, Fator E. 10,35)]. As amostras 5 e 6, obtidas a uma maior temperatura final de síntese, mostraram uma redução no ponto de fusão [5 (T=84,27±4,95 °C; PF=128±0,56 °C) e 6 (T=91,20±7,54 °C; PF=127±0,33 °C)], possivelmente causado pela presença de impurezas, verificado pela coloração amarelada do produto final. Isso pode ter sido ocasionado pela formação de subprodutos da reação e formação de óxidos de enxofre (redução do ácido sulfúrico), utilizado como catalisador sob temperaturas mais elevadas. Além disso, pode ter ocorrido reação paralela de sulfonação no anel aromático. As amostras 1 e 3 apresentaram bom rendimento [1 (64,77±1,05 %) e 3 (69,20±0,93%), com desvio padrão relativo (RSD) baixo, 1,62% e 1,34%, respectivamente], além disso, estas amostras tiveram teste negativo com cloreto de ferro III, para presença de AS, e apresentaram PF próximo a literatura (MENE-GATTI; FRAGA; BARREIRO, 2001; LOPES, 2011; ROSINI; NASCENTES; NÓBREGA, 2004), devido ao maior rendimento e satisfatória eficiência atômica, a amostra 3 foi selecionada para uma posterior comparação com os resultados obtidos da síntese do AAS por meio da metodologia convencional.

Quando se trata da maior incorporação de átomos (MACHADO, 2014), na síntese do AAS, todas as amostras apresentaram baixo percentual de eficiência atômica (% EA), pois apenas 22% a 25% dos átomos utilizados nos reagentes foram incorporados no produto final. Portanto, essa reação é considerada “marrom” ao tratar-se de aproveitamento de reagentes. Isso ocorre em função da própria natureza das reações de substituição, notadamente a reação de substituição nucleofílica acílica para a obtenção do AAS, que em-

prega excesso de anidrido acético na reação. Por não ser incorporado ao produto final, constitui parte dos resíduos (ORTIZ, 2007).

Análise comparativa entre a síntese do aas por aquecimento convencional e aquecimento com forno micro-ondas

A análise comparativa da síntese convencional (aquecimento em banho-maria) com a reação aquecida em forno de micro-ondas doméstico (Tabela 6), mostra que a reação otimizada pelo uso de irradiação micro-ondas diminui drasticamente o tempo da reação de 10 minutos para 50 segundos. O menor tempo de reação contribui para uma redução considerável de gasto energético, indo ao encontro do 6º princípio da Química Verde, que trata especificamente de melhorias na eficiência energética de reações (Souza e Miranda, 2014).

Tabela 6. Resultados da síntese AAS: aquecimento convencional *versus* aquecimento por irradiação micro-ondas

Amostras	Tempo	Temp. (°C)	Rend. (%)	RSD	% EA	Fator E (kg)	PF (°C)
Síntese convencional	20 minutos	50 ± 5,45	49,49 ± 0,82	1,66 %	17,4	14,97	134 ± 0,56
Síntese por micro-ondas	50 segundos	72 ± 3,08	69,20 ± 0,93	1,34 %	24,62	10,41	135 ± 0,33

Ao comparar os resultados da Tabela 6, é notória a eficiência da síntese do AAS através de irradiação micro-ondas em menor tempo de reação, 50 segundos, com rendimento 69,20±0,93%; quando comparado à síntese aquecida em banho-maria (49,49±0,82%). Isso pode ser justificado pelo aquecimento acelerado, uniforme, sem oscilações e absorção direta da radiação micro-ondas pelas moléculas polares presentes na mistura reacional, mesmo em temperaturas superiores a 50 °C, que foi no caso da síntese por micro-ondas executada neste trabalho. Contudo, o rendimento percentual não leva

em consideração os resíduos gerados e que não são incorporados ao produto final durante o processo. Para afirmar qual síntese foi verdadeiramente mais eficiente, é necessário avaliar os valores de EA da reação convencional (17,4%) e da reação otimizada (24,62%). Nesta, constatou-se maior incorporação de átomos no produto final, com menor Fator E, 10,41 kg de resíduo para cada quilograma de produto principal obtido.

Métricas de avaliação de verdura

Através de métricas holísticas, foi possível avaliar a verdura da síntese do AAS, visualizar quais princípios da Química Verde foram alcançados e também apresentar possibilidades para melhorias nos experimentos.

Matriz Verde (MV)

Na *Tabela 7* está descrita a MV da síntese convencional do AAS, protocolo experimental 1. A partir da análise interna, levantamento de pontos fortes e pontos fracos e da análise externa do experimento, apresentaram-se as ameaças e as possibilidades para melhorias na verdura da reação.

Tabela 7. Matriz Verde da síntese convencional do AAS

Pontos Fortes	Pontos fracos
03. Sem indicação de riscos para o ambiente (N). 09. O produto não representa qualquer tipo de riscos ou apresenta riscos baixos, por se tratar da aspirina. 10. Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos. 11. Consumo baixo ($V \leq 50$ mL) de água como solvente ou reagente; 12. Consumo baixo ($V \leq 200$ mL) de água como facilidade. 13. Com consumo baixo ($V \leq 50$ mL) de outros solventes além da água.	01. Apresentam riscos físicos elevados: anidrido acético líquido inflamável (H226) e o ácido sulfúrico concentrado é corrosivo para os metais (H290). 02. Apesar de o ácido salicílico apresentar riscos baixos a saúde neste experimento (é nocivo apenas se ingerido H302 em caso de contato com os olhos pode causar irritação ao globo, H318), os reagentes, anidrido acético apresenta toxicidade aguda (H302), quando inalado (H330) e corrosivo para a pele (H314) e o ácido sulfúrico concentrado é corrosivo para a pele (H314).

13. Com consumo baixo ($V \leq 50$ mL) de outros solventes além da água. 16. Não se faz necessário o uso de bloqueadores. 23. Uso de equipamentos com riscos baixos ou moderados. 24. Os materiais, vidrarias comuns e termômetro infravermelho utilizado na síntese da aspirina envolvem riscos baixos. 03. Sem indicação de riscos para o ambiente (N). 09. O produto não representa qualquer tipo de riscos ou apresenta riscos baixos, por se tratar da aspirina. 10. Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos. 11. Consumo baixo ($V \leq 50$ mL) de água como solvente ou reagente; 12. Consumo baixo ($V \leq 200$ mL) de água como facilidade. 13. Com consumo baixo ($V \leq 50$ mL) de outros solventes além da água. 16. Não se faz necessário o uso de bloqueadores. 23. Uso de equipamentos com riscos baixos ou moderados. 24. Os materiais, vidrarias comuns e termômetro infravermelho utilizado na síntese da aspirina envolvem riscos baixos.	04. São gerados resíduos e estes representam perigos físicos e a saúde; 05. Fator E 14,97 (calculado após a purificação do AAS pela técnica de recristalização). 06. Usa excesso de reagente: anidrido acético. 07. 265,33 % de anidrido acético em excesso. 08. EA = 17,40, menor que 33% (calculado após a purificação do AAS pela técnica de recristalização). 14. Realiza-se em temperatura diferentes do ambiente (aqueceu-se em banho maria em cerca de 50 °C e depois esfriou-se em banho de gelo). 15. Pelo menos uma das substâncias não é renovável. 17. Utiliza catalisador. 18. Catalisador do tipo homogêneo – ponto fraco pois não é passível de recuperação e pelo catalisador ser um ácido forte com riscos físicos e à saúde. 19. Não há recuperação do catalisador (faz parte dos resíduos). 20. Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição. 21. Não utiliza substâncias que podem ser reutilizadas. 22. No caso do ácido sulfúrico concentrado há riscos (corrosivo para os metais (H290 e corrosivo para a pele (H314)).
Possibilidades	Ameaças
- Aperfeiçoar o experimento a partir da redução do tempo de reação, viabilizando a realização com maior rapidez em aulas experimentais de química orgânica. Para isso, é possível substituir o aquecimento convencional por irradiações de micro-ondas. - Padronizar o método a partir de estudos que visem um melhor rendimento de AAS, que pode ser feito a partir da investigação do melhor tempo de reação <i>versus</i> rendimento. - Sintetizar o AAS reduzindo o excesso de anidrido acético (265, 33% de excesso). - Sintetizar o AAS com reagentes mais próximos a estequiometria da reação.	- É imprescindível o uso de aquecimento.

Os resultados da MV (Tabela 7) mostraram o atendimento de apenas 09 dos 24 critérios avaliados. Isso aconteceu pelo fato da síntese do AAS utilizar anidrido acético em excesso, ácido sulfúrico

como catalisador com riscos à saúde, físicos e ambientais, além da necessidade de gasto energético para a sua obtenção, tornando este tipo de reação menos verde (ORTIZ, 2007). A análise da MV deixou evidente que há possibilidades de melhorias na verdura da síntese convencional do AAS, sendo isto observado durante a realização da síntese com forno de micro-ondas. Além disso, existe grande quantidade de anidrido acético em excesso (265,33%), apontando possibilidades de redução, a fim de melhorar a verdura de massa.

A Tabela 8 mostra a MV referente à purificação do AAS pela técnica de recristalização.

Tabela 8. Matriz Verde da técnica de purificação convencional do AAS

Pontos Fortes	Pontos fracos
02. O etanol e a água utilizados no processo de recristalização não apresentam riscos para a saúde. 03. O etanol e a água não indicam riscos para o ambiente (N). 04. Os resíduos são inócuos. 05. O uso de água como solvente na recristalização é inócuo. 06. Consumo baixo ($V \leq 50$ mL de água como solvente ou reagente, 07. Não há consumo de água com facilidade. 08. Com consumo baixo ($V \leq 50$ mL) de outros solventes além da de água. 10. Usa-se álcool etílico e água que são renováveis. 11. Etanol é biodegradável. 12. As substâncias empregadas podem ser recuperadas. 14. Emprega equipamentos de laboratório com baixos riscos. 15. Utilizam-se vidrarias convencionais com baixo risco.	01. O etanol é um líquido com riscos físicos elevados em função dos seus vapores altamente inflamáveis (H225). 09. Realiza-se a temperatura e pressão diferentes do ambiente (aquecimento suave em estufa a 40 °C por mais de 2 horas). 13. Etanol altamente inflamável.
Possibilidades	Ameaças
- Apesar dos pontos fracos identificados para o etanol no momento da recristalização, este é empregado em pequena quantidade (3 mL) e seus resíduos são de baixa toxicidade (não halogenados). - Utilização de aquecimentos eletrotérmico mais seguro.	Não é possível realizar a purificação sem o uso de aquecimento e posterior secagem.

Nota-se alto índice de verdura na MV da técnica de recristalização, considerando que de 15 critérios avaliados, foram atendidos 12. Um aspecto positivo a destacar é o uso de solventes inócuos (água e etanol) em pequenas quantidades durante o processo de purificação.

Na tabela 9 descrevemos o resumo com a exploração das oportunidades vislumbradas na MV da síntese do AAS após a otimização do método.

Tabela 9. Exploração das oportunidades da Matriz Verde para a síntese do AAS com micro-ondas para fins didáticos

Exploração das Oportunidades: Protocolo da Síntese de aspirina otimizada	
Alteração	
Síntese do AAS por micro-ondas em tempo reduzido de 20 minutos para 50 segundos	
Resultados	
Obtiveram-se melhorias no:	
Tempo de reação: 50 segundos	
Temperatura: $72 \pm 3,08$ °C	
Rendimento (%): $69,20 \pm 0,93$	
Fator E: 10,41 kg de resíduo para cada 1 kg de produto principal	
% EA: 24,62	
Ponto de Fusão: $135 \pm 0,33$ °C	
Solvente para recristalização: solventes inócuos e em pequena quantidade (3 mL de etanol e 20 mL de água)	

Nota: A eficiência atômica e o Fator E foram calculados após a purificação do AAS, visando verificar o valor global de átomos no produto final e a produção global de resíduos.

A exploração do método convencional da síntese do AAS e proposta da otimização a partir da análise qualitativa da MV, levaram ao melhoramento significativo do tempo de trabalho em bancada, e a melhorias no rendimento e eficiência atômica. A avaliação da MV, permitiu elencar possibilidades para melhorar a reação a partir de estudos com reagentes em proporções estequiométricas.

Estrela Verde (EV)

Na tabela 10 apresenta-se a pontuação atribuída na construção da EV para a síntese convencional (a), para a síntese otimizada (b)

e para a técnica de purificação (c). Esta pontuação está correlacionada aos princípios da QV e aos critérios de riscos, renovabilidade e degradabilidade dos reagentes empregados na síntese do AAS. A pontuação vai de 1 (o princípio não foi alcançado) até 3 (princípio alcançado totalmente). Os dados sobre riscos à saúde humana e ao ambiente e os riscos de acidentes das substâncias utilizadas durante o processo, foram obtidos por meio da Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ).

Tabela 10. Pontuações para construção da EV

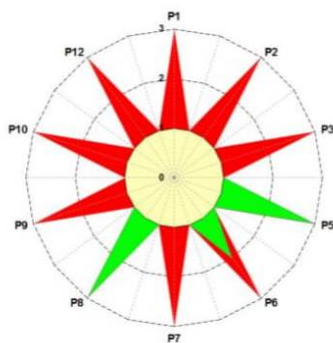
Princípios	P (a)	P (b)	P (c)	Justificativa
P1. Prevenção	1	1	3	(a/b) Ácido acético (Corrosivo) e excesso de anidrido acético nos resíduos. (c) Todos os resíduos (traços) são inócuos.
P2. Economia Atômica	1	1	-	(a/b) Excesso de anidrido acético na reação. (c) Não se aplica.
P3. Síntese menos perigosa	1	1	-	(a/b) Substância envolvida com perigo elevado a saúde e ambiente: Ácido Sulfúrico (Corrosivo e perigoso para o ambiente). (c) Não se aplica.
P5. Solventes mais seguros	3	3	3	(a/b) Não utiliza solventes auxiliares. (c) Álcool etílico (3 mL) sem indicações de risco elevado.
P6. Eficiência Energética	2	2	2	(a) Gasto de energia, $50 \pm 5,45$ °C, durante o processo e tempo de reação de 20 minutos. (b) Gasto de energia, $72 \pm 3,08$ °C (radiações micro-ondas) e menor tempo de reação 50 segundos. (c) Gasto de energia para dissolução dos cristais de AAS (aquecimento moderado).
P7. Uso de matérias primas renováveis	1	1	3	(a/b) Não há. (c) O álcool etílico provém de substâncias renováveis.
P8. Redução de derivatizações	3	3	-	(a/b) Não ocorrem derivatizações. (c) Não se aplica.
P9. Catalisadores	1	1	-	(a/b) Ácido Sulfúrico (Corrosivo e perigoso para o ambiente) como catalisador. (c) Não se aplica.

P10. Planificação para degradação	1	1	2	(a/b) Ácido sulfúrico não degradável nem pode ser tratado para sua degradação. (c) Etanol biodegradável.
P12. Química Segura	1	1	1	(a/b) A maioria das substâncias químicas utilizadas apresentam perigo elevado de acidente químico: anidrido acético (Corrosivo), ácido sulfúrico (Corrosivo). (c) O Etanol (Inflamável) apresenta perigo elevado de acidente químico sob aquecimento.

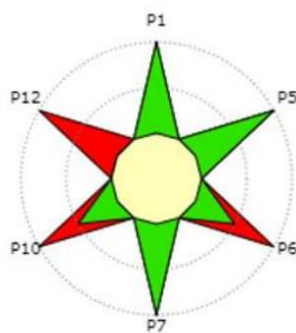
Nota: P (a): Pontuação para síntese convencional do AAS. P (b): Pontuação síntese do AAS com micro-ondas. P (c): Pontuação para técnica de recristalização - uma operação não reativa, que não se aplica os princípios, P2, P3, P8 e P9.

É importante destacar que, muitas vezes, é necessário avaliar quantitativamente a verdura da EV, pois nem sempre a análise visual é eficiente. Para este fim, é possível calcular a percentagem de área verde da estrela pelo Índice de Preenchimento da Estrela ($IPE = 100 \times \text{área verde da estrela} / \text{área verde da estrela de verdura máxima}$). Para a estrela de verdura máxima, $IPE = 100$, para a de mínima, $IPE = 0$ (<http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>). Nos gráficos da Figura 2, mostra-se apenas uma Estrela Verde para a reação de síntese do AAS obtido convencionalmente e da síntese por micro-ondas (EV 2A), uma vez que, visualmente apresentam a mesma verdura química e, o gráfico EV 2, que indica a EV da técnica de recristalização do AAS.

Figura 2. Estrela Verde da síntese convencional e da síntese otimizada de AAS (EV 2A) e a Estrela Verde da purificação do AAS por recristalização (EV 2B)



(EV 2A) IPE = 25%



(EV 2B) IPE = 66,67%

Ao se observar a EV 2A (Figura 2), percebe-se que o índice de preenchimento da estrela (IPE) está longe da verdura ideal mesmo após otimização do processo com utilização de radiações por micro-ondas, por 50 segundos com temperatura final de 72 °C, pois apesar da redução do tempo de reação e provável redução do gasto energético, não foi possível visualizar graficamente esta melhora na EV, que mostra uma área de preenchimento de 25%, pela pontuação 2 atribuída para reações que ocorrem à pressão e temperaturas diferentes a do ambiente (MACHADO, 2014). Além disso, a síntese do AAS é uma reação que contém muitas substâncias nocivas, com baixo índice de verdura (IPE), que também pode ser observado nas métricas de massa apresentadas anteriormente (EA e Fator E) e na construção da MV. Aqui destaca-se a importância da análise qualitativa de experimentos a partir da MV, que permite vislumbrar melhorias experimentais não detectáveis na EV.

Ao avaliar o princípio 5, que busca a utilização de solventes auxiliares mais seguros, nota-se máxima benignidade na síntese convencional e por micro-ondas do AAS, por não haver necessidade do uso de auxiliares. O princípio 7 não foi atingido, pois não se faz o uso de matérias primas totalmente renováveis. Uma vez que não houve derivatização durante a reação, o oitavo princípio (P8) foi contemplado totalmente. Os princípios 1, 2, 3, 9, 10 e 12 não puderam ser contemplados nesta síntese, alcançando verdura mínima na EV, uma vez que em relação à prevenção (P1), se produz ácido acético como resíduo, que é corrosivo e também prejudicial à saúde e ao ambiente. A síntese ocorreu com excesso de reagente (265,33% anidrido acético), fato desfavorável ao referir-se à eficiência atômica (P2). O uso de ácido sulfúrico, como catalisador desfavorece o P3, que busca sínteses menos perigosas, o P9, que indica a preferência por catalisadores mais benignos ou a não utilização destes durante a reação e o P10, pois o ácido sulfúrico é a única substância utilizada que não é biodegradável e nem pode ser tratada para obter a degradação. O último princípio abordado, o qual busca uma Química intrinsecamente segura para prevenção de acidentes também obteve pontuação mínima na EV, pois a maioria das substâncias utilizadas apresentam perigo elevado de acidente químico.

Na EV da técnica de purificação do AAS, Figura 2 (EV 2B), a maioria dos princípios avaliados foram contemplados, resultando em alto IPE = 66,67%. Os princípios P1, P5 e P7 foram alcançados totalmente pelo fato de o etanol ser considerado inócuo, não possuir indicações de riscos elevados e ser proveniente de fontes renováveis. No entanto, os princípios P10 e P12 foram contemplados de forma parcial, e o princípio P6 não foi atingido. O princípio P10 está relacionado ao uso de etanol que é degradável à produtos inócuos; P12, ao uso de álcool etílico que apresenta riscos de acidentes químicos durante o aquecimento; e o P6, à utilização de energia no processo de dissolução dos cristais para recristalização.

Por fim, este trabalho demonstrou que a QV inserida no âmbito acadêmico, pode contribuir para a adaptação ou desenvolvimento de metodologias mais eficientes, seguras e sustentáveis do ponto de vista ambiental. Além disso, permite que os educandos desenvolvam um pensamento crítico sobre as questões relativas à Química, reforçando o pensamento de Anastas e Kirchhoff (2002) de que “todos os estudantes, em todos os níveis de ensino, precisam ser introduzidos à filosofia e a prática da Química Verde”. Aqui, a proposta de otimização da síntese e purificação do AAS foi imprescindível para avaliar as limitações e as potencialidades do experimento em atender os princípios da QV. No entanto, acreditamos que os benefícios da inserção da QV no ensino das Instituições de Ensino Superior podem ultrapassar a barreira educacional, principalmente ao que diz respeito às decisões mais responsáveis e na formação qualificada dos profissionais da área. Ou seja, acreditamos que esses fatores poderiam, pelo menos em partes, promover atitudes e valores mais comprometidos não somente com a cidadania planetária em busca da preservação ambiental, mas também com questões relacionadas às desigualdades econômicas e sociais.

Conclusão

A síntese do AAS com forno de micro-ondas doméstico é viável para ser empregada em aulas experimentais de cursos superiores. Além disso, foi mais eficiente quando comparada à técnica convencional, em função da maior pureza, maior rendimento, a maior incorporação de átomos no produto final e pelo tempo reduzido de reação. Fazer uso das métricas de massa e das métricas holísticas permite aprofundar o conhecimento e domínio da prática experimental, refletir sobre o quão danoso um processo pode ser ao meio ambiente e à saúde do manipulador, bem como vislumbrar alternativas que possam ser utilizadas para que ocorram melhorias na metodologia. Este trabalho mostrou a importância de se desenvolver e utilizar técnicas que favoreçam a abordagem dos princípios da QV no Ensino de Química e o emprego destes para práticas menos nocivas ao meio ambiente e a saúde.

Referências

- ALMEIDA, S.C.D.; RIBEIRO, M.G.T.C.; LEAL, J.P. **Aplicação Web para Cálculo de Métricas de Avaliação da Verdura de Reações Químicas em Laboratório**. (Dissertação) Mestrado em Química e Bioquímica. Universidade do Porto, Portugal, 2013.
- ANASTAS, P.T.; WARNER, J.C. **Green Chemistry: theory and practice**. Ed. Oxford University Press: Oxford, 1998.
- ANASTAS, P.T.; KIRCHHOFF, M.M. Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. *Accounts of Chemical Research*, v.35, n.9, p.686-694, jun. 2002.
- ATKINS, P. W; JONES, L. LAVERMAN, L. **Princípios de Química**. Questionando a vida moderna e o meio ambiente, Bookman: Porto Alegre, 2018.
- BACCAN, N.; ANDRADE, J.C.; GODINHO, O.E.S.; BARONE, J.S. **Química Analítica Quantitativa Elementar**. 3. ed. São Paulo: Blücher – Instituto Mauá de Tecnologia, 2001.
- BRUNETTI, J. S. **Estudo de diferentes técnicas para síntese e purificação do ácido acetilsalicílico (AAS)**. Instituto Federal do Paraná, Palmas, 2010.
- CLARK, J.H. Green chemistry: challenges and opportunities. *Green Chemistry*., v.1, n. 1, 1999.
- CORRÊA, A.G.; ZUIN, V.G. **Química Verde: Fundamentos e Aplicações**, EdUFSCar: São Carlos, 2009.

COSTA, D.A. **Métricas de Avaliação da Química Verde - Aplicação no Ensino Secundário.** (Tese) Doutorado em Química – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2011.

COSTA, D.A.; RIBEIRO, M.G.T.C.; MACHADO, A.A.S.C. Uma análise SWOT do contexto CTSS das atividades laboratoriais de ensino secundário. **Informativo de Química.**, n. 124, jan/ mar., p.65-74, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Farmacopeia Brasileira**: 2ª Ed. 2010. Disponível em: portal.anvisa.gov.br/documents/33832/.../4c-530f86-fe83-4c4a-b907-6a96b5c2d2fc. Acesso em janeiro de 2018.

GONÇALVES, D.; WAL, E.; ALMEIDA, R.R. Química orgânica experimental, ed. McGraw-Hill: São Paulo, 1988.

HJERESSEN, D.L.; ANASTAS, P.; WARE, S.; KIRCHHOFF, M. Green Chemistry Progress & Challenges. **Environmental Science & Technology.**, v.35, n.105, 2001.

LEAL, A.L.; MARQUES, C.A. O Conhecimento Químico e a Questão Ambiental na Formação Docente. **Química Nova na Escola.**, v.29, n.3, p.30-33, 2008.

LOPES, R.O.M. **Aspirina: aspectos culturais, históricos e científicos.** (Trabalho de Conclusão de Curso) Instituto de Química – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MACHADO, A.A.S.C. Dos primeiros aos segundos doze princípios da Química Verde. **Química Nova**, v. 35, n. 6, p. 1250-1259, 2012.

MACHADO, A.A.S.C. **Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica**, Ed. UFSC: Florianópolis, 2014.

MARQUARDT, M.; EIFLER-LIMA, V. L. A síntese orgânica em fase sólida e seus suportes poliméricos mais empregados. **Química Nova.**, v.24. n.6, p.846-855, 2001.

MARQUES, C. A. Estilos de pensamento de professores italianos sobre a Química Verde na educação química escolar. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.**, v.11, 2012.

MARQUES, M.V.; BISOL, T.B.; SÁ, M.M. Reações multicomponentes de Biginelli e de Mannich nas aulas de química orgânica experimental. Uma abordagem didática de conceitos da química verde. **Química Nova.**, v.35, n.8, p.1696-1699, 2012.

MENDES, A.S.; PERUCH, M.G. B.; FRITZEN, M.F. Síntese e purificação do ácido acetilsalicílico através da recristalização utilizando diferentes tipos de solventes. **Revista Eletrônica Estácio Saúde.**, v.1, n.1, 2012.

MENEGATTI, R.; FRAGA, C. A. M.; BARREIRO, E. J.; A importância da Síntese de Fármacos. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n.3, maio, 2001. Disponível em <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/03/sintese.pdf>. Acesso em fev. 2018.

MINATTINÊS, E. **Química Orgânica Experimental da UFSC.** 2000 Disponível em <http://www.qmc.ufsc.br/organica>. Acesso em jan. 2010.

ORTIZ, M. A. **Reações Átomo-Econômicas em Síntese Orgânica.** (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal De Pelotas, Pelotas, 2007.

PAVIA, D. L. **Química Orgânica experimental**, 2º ed. Porto Alegre, Bookman, 2009.

- PAVIA, D. L. **Introduction to Organic Laboratory: Techniques'** a contemporary approach. Pavia, D. L.; Lapman e G. M.; Kriz, G. Z.; 2nd. ed. Saunders, College Publ, 1982.
- PORTO, C. L. **Utilização de micro-ondas em síntese orgânica.** (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004.
- PRADO, A. G. S. Química Verde, os desafios da Química no novo milênio. **Química Nova.**, v.26, n.5, p.738-744, 2003.
- RAMOS, M. A. F. C. **Química Verde – potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário.** (Dissertação) Mestrado em Química Para O Ensino, Faculdade de Ciência: Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.
- RIBEIRO, G.T.C.; MACHADO, A.A.S.C.; Novas Métricas Holísticas para Avaliação da Verdura de Reações de Síntese em Laboratório. **Química Nova.**, v.35, p.1879- 1883, 2012.
- RIBEIRO, M.G.T.C.; COSTA, D.A.; MACHADO, A.A.S.C. Uma Métrica Gráfica para Avaliação Holística da Verdura de Reações Laboratoriais – “Estrela Verde”, **Química Nova.**, v.33, p.759-764, 2010.
- RIBEIRO, M.G.T.C.; MACHADO, A.A.S.C. **Pedagogia da Química Verde** - Educação para a Sustentabilidade, 2008. *Disponível em:* <http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>. Acesso em: 25 jan 2023.
- ROSINI, F.; NASCENTES, C.C.; NÓBREGA, J.A. Experimentos Didáticos Envolvendo Radiação Micro-ondas. **Química Nova.**, v.27, n.6, p.1012-1015, 2004.
- SANCHEZ, V.C.; JERMOLOVICIUS, L.A.; SENISE, J.T. Processo irradiado por Micro-ondas para produção de Eteno Verde. **Anais do 4º Simpósio de Iniciação Científica do IMT**, 2012.
- SANDRI, M.C.M. **Contribuições do enfoque CTSA e da QV na formação de licenciandos em Química.** (Tese) Doutorado em Educação Para a Ciência e o Ensino de Matemática – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.
- SANDRI, M.C.M.; GOMES, S.I.A.A.; BOLZAN, J.A. **Orgânica Experimental:** Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura Estrela Verde e Matriz Verde. Curitiba- IFPR, 2018. Disponível em: <https://reitoria.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2018/12/EBOOK-QUIMICA-ORG%C3%82NICA-EBOOK-19-12-4.pdf>. Acesso em: 07 de dez, 2021.
- SEABRA, A. P, **Práticas de Química Orgânica** / Affonso do Prado Seabra e Eloísa Biasotto Mano – 3ª edição, São Paulo, 1987.
- SOARES B.G. **Química Orgânica, Teoria e Técnicas de Preparação, Purificação e Identificação de Compostos Orgânicos.** Ed. Rio de Janeiro, Guanabara, 1988.
- SOLOMONS, G.; FRYHLE, C. **Química Orgânica**, LTC: Rio de Janeiro, 2012.
- SOUZA, R.O.M.A.; MIRANDA, L.S.M. Reações Sob Fluxo Contínuo: da Química Verde a um Processo Verde. **Revista Virtual Química.**, v.6, n.1, p.34-43, 2014.
- TROST, B. M. The atom economy-a search for synthetic efficiency. *Science.*, v.254, p.1471-1477, 1991.

TSUKUI, A.; RESENDE, C. M. Extração Assistida por Micro-ondas e Química Verde. **Revista Virtual Química.**, v.6, n.6, p.1713-1725, 2014.

ZANDONAI, D.P.; SAQUETO, K.C.; ABREU, S.C.S.R.; LOPES, A. P.; ZUIN, V. G. Química Verde e Formação de Profissionais do Campo da Química: Relato de uma Experiência Didática para Além do Laboratório de Ensino. **Revista Virtual Química.**, v.6, n.1, p.73-84, 2014.

Sobre os autores

Alvaro Chrispino - Doutor e Mestre em Educação (1992) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Realizou Pós-doutorado em Administração Pública pela FGV/EBAPE (2011). Professor Titular Sênior do CEFET/RJ. Possui 16 livros e mais de 120 artigos em periódicos especializados na área de Educação e Ensino de Ciências (CTS-ciência-tecnologia-sociedade e educação química). É membro da Comissão Diretora da AIA-CTS - Associação Ibero-americana de CTS no Ensino e Editor do Boletim da AIA-CTS.

Carlos Alberto da Silva Júnior - Doutorando em Química Analítica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), mestre e licenciado em Química. Atualmente é professor efetivo do Departamento de Química no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Tem atuado no Ensino de Química Verde e por seus trabalhos nesse tema foi premiado seis vezes no país e exterior (Chile e Itália).

Carlos Alberto Marques - Professor titular do Dep. de Metodologia de Ensino e do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Graduado e mestre em Química pela UFSC. Doutor em Ciências Químicas pela Universidade de Venezia-Itália (UNIVE). Pós-doutorado em Ensino da Química Verde, na UNIVE e na Univ. do Porto. Ex-diretor da Divisão de Ensino da SBQ e da SBEnQ. Leciona Metodologia de Ensino de Química e Sustentabilidade e Ensino de Ciências. Coordena o Grupo de Investigação no Ensino de Química. É bolsista Produtividade em Pesquisa CNPq

Dosil Pereira de Jesus - Graduou-se (1996) em Tecnologia em Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Concluiu o mestrado (1999), doutorado (2003) e pós-doutorado (2006) em Química Analítica pelo Instituto de Química

da Universidade de São Paulo. Foi pesquisador visitante na Universidade de Harvard - Estados Unidos (2010). Atualmente é professor livre docente do Departamento de Química Analítica do Instituto de Química da Unicamp, onde atua nas linhas de pesquisas em eletroforese capilar e dispositivos microfluídicos para análises químicas.

Flávia de Mello - Mestra em Química pela Universidade Regional de Blumenau (2019). Graduada em Licenciatura em Química pelo Instituto Federal do Paraná (2016). Professora de química pela Secretaria do Estado da Educação do Paraná - SEED. Tem experiência e desenvolve pesquisa na área de Química dos Produtos Naturais, com ênfase em prospecção fitoquímica e atividade biológica, e também no Ensino de Química com estudos relacionados a aplicação dos princípios da Química Verde.

Gildo Giroto Júnior - Professor do Departamento de Química Analítica da Universidade Estadual de Campinas. Kursou doutorado e o mestrado em Ensino de Química pelo programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo e a Licenciatura em Química pela UNESP - Campus Araraquara. Atualmente suas pesquisas estão direcionadas as linhas de: investigação sobre a formação e desenvolvimento de saberes e conhecimentos profissionais docentes; desenvolvimento e análise de materiais didáticos para o ensino de química com o uso de tecnologias.

João Paulo Stadler - Licenciado e Bacharel em Química (UTFPR), especialista em Educação Especial e Inclusiva (UNINTER) e em Materiais Didáticos no Ensino de Ciência e Matemática (PUCPR). Mestre em Ensino de Ciências (UTFPR). Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática no Programa de Pós-graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica (UTFPR). Docente do colegiado de Química do IFPR/Palmas. Colaborador do projeto de Pesquisa e de Ensino e Aprendizagem: Avaliação de Verdura Química dos Experimentos de Química Orgânica.

Júlia Damazio Bouzon - Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2012), mestre em Ensino de Ciências pela Universidade Federal Fluminense (2015) e Doutora em Ciência, Educação e Tecnologia pelo CEFET/RJ (2022). Atua como pesquisadora na linha de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e ensino de Química Verde. É professora efetiva no Colégio Pedro II, tanto no ensino básico quanto na Especialização em Ensino de Química, lecionando a disciplina Educação em Química, Sociedade e Ambiente.

Juliana Aparecida Bolzan - Mestre em Farmacologia pela Universidade Federal de Santa Catarina (2020). Graduada em Farmácia pelo Instituto Federal do Paraná (2018). Atualmente é doutoranda em Farmacologia pela Universidade Federal de Santa Catarina (2020-2024), e colaboradora voluntária no grupo de Pesquisa e Estudo sobre a Química Verde, denominado Grupo de Estudo e Pesquisa em Educação e Química Verde (GEPEQV).

Juliana Barreto Brandão - Professora da Educação Básica, Técnica e Tecnológica do CEFET/RJ, unidade Maracanã. Doutora em Ciência, Tecnologia e Educação pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do CEFET/RJ (2022). Mestre em Ensino de Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Natureza da Universidade Federal Fluminense (2015). Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Federal Fluminense (2007).

Marilei Casturina Mendes Sandri - Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2005), mestre em Química Aplicada pela mesma universidade (2008) e doutora em Educação Para a Ciência e o Ensino de Matemática pela Universidade Estadual de Maringá (2016). Atualmente é professora da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Ensino de Química, atuando principalmente nos seguintes temas: Química Verde, Formação de Professores e experimentação.

Patricia Link Rüntzel - Doutora e mestre em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT/UFSC), é licenciada em Química pela UFSC com período sanduíche na Universidade de Coimbra. Bolsista de Pós-doutorado Júnior do CNPq.

Sandra Inês Adams Angnes Gomes - Licenciada em Química pelas Faculdades Reunidas de Administração, Ciências Contábeis e Ciências Econômicas de Palmas (2009). Mestre em Química pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (2005). Docente do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal do Paraná campus Palmas desde 2011 e Coordenadora do projeto de Pesquisa e de Ensino e Aprendizagem: Avaliação de Verdura Química dos Experimentos de Química Orgânica.

