



O Pensamento Sistêmico em Abordagens de Ensino de Química Geral do Ensino Superior

Tavane da Silva Rodrigues (PG)^{1*}, Charlene Barbosa de Paula (PG)¹, Fábio André Sangiogo (PQ)¹ **rodriguestavane1@gmail.com*

¹Universidade Federal de Pelotas, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Laboratório de Ensino de Química, Campus Universitário Capão do Leão.

Palavras-Chave: Pensamento de Sistemas, Ensino de Química Geral, Metodologias para o Ensino Superior.

Área Temática: Processo de Ensino e de Aprendizagem e Avaliação

RESUMO: O pensamento sistêmico surge como uma abordagem ao contexto do Ensino de Química, tanto no nível básico como superior, para superar perspectivas tradicionais e reducionistas que focam apenas na abordagem de conteúdos a serem memorizados e aplicados mecanicamente em avaliações, com pouca ou nenhuma conexão com questões sociais ou da realidade de cada estudante. Diante do exposto, o presente trabalho busca explicitar algumas possibilidades do uso da abordagem do pensamento sistêmico na disciplina de química geral no ensino superior. O estudo tem características de pesquisa bibliográfica de uma edição especial do *Journal of Chemical Education*. Com a apresentação dos artigos selecionados podemos evidenciar que o pensamento sistêmico pode contribuir em propostas de ensino e/ou no currículo de cursos de química, contribuindo na avaliação e na aprendizagem de estudantes sobre algum conteúdo ou tema estudado.

INTRODUÇÃO

O Ensino de Química, tanto no nível básico como superior, se mostra tipicamente tradicional ao focar na transmissão de conceitos, em expressões matemáticas e não associando ao significado lógico e de interpretação química e físico-química dos fenômenos associados à disciplina (LIMA, 2012). Além disso, muitas vezes demonstra uma perspectiva reducionista dos conteúdos ensinados, ao utilizar de um excesso de conteúdos conceituais a serem memorizados e utilizados mecanicamente em avaliações, com pouca ou nenhuma conexão com questões sociais ou com a realidade de cada estudante (AULER; DELIZOICOV, 2001).

Johnstone (1982) sugere uma organização para a ciência Química, propondo que ela seja dividida em, no mínimo, três níveis: o macroscópico, o submicroscópico e o representacional. O nível macroscópico seria palpável, os fenômenos e situações perceptíveis aos sentidos; o submicroscópico engloba as explicações em nível molecular; e o representacional ou simbólico articula o uso de símbolos, equações e representações em geral, formando, assim, um triângulo. Nessa perspectiva, Johnstone (1982) evidencia que as dificuldades de aprendizagem no ensino de Química são resultantes de processos de ensino e aprendizagem que se concentram em apenas um ou dois níveis do triângulo. Muitas vezes, o nível submicroscópico é o menos articulado e raramente os três níveis são usados de modo integrado,

Apoio



dificultando a compreensão do aluno sob a abstração da Química. Mahaffy (2004) amplia as discussões sobre a organização da Química e propõe a existência de um quarto vértice, formando assim um tetraedro. O autor sugere a existência de um vértice chamado elemento humano, o qual se relaciona à compreensão do mundo por meio da Química e na formação de um sujeito crítico e reflexivo. Rodrigues *et al.* (2022), apontam que tais elementos, que constituem o tetraedro, podem contribuir no planejamento de atividades de ensino mais próximas de uma perspectiva crítica e transformadora da realidade.

A partir de uma necessidade de reorganizar o ensino da Química e torná-lo mais compreensível aos estudantes, os professores podem recorrer a alternativas que busquem articular os conteúdos de Química com questões que vão além das definições teóricas. Uma abordagem que surge como possibilidade para essa articulação é o Pensamento Sistêmico ou Pensamento de Sistemas (CONSTABLE; JIMÉNEZ-GONZÁLEZ; MATLIN, 2019; LASKER, 2019).

O pensamento sistêmico (*Systems Thinking*), segundo Mahaffy *et al.* (2018), move a Educação Química para além de abordagens tradicionais e reducionistas que fornecem conhecimento fragmentado de reações e dos processos químicos, pois contempla uma compreensão mais abrangente de como o conhecimento da Química se conecta aos sistemas dinâmicos, complexos sociais, tecnológicos, econômicos e ambientais em nosso mundo. A perspectiva se mostra uma alternativa atual e viável que busca integrar o conhecimento, para além das teorias e leis abstratas que compõem a ciência Química (LASKER, 2019).

Perspectivas de ensino utilizando o pensamento sistêmico enfatizam a interdependência dos componentes de um sistema e das interações com outros sistemas, incluindo as questões sociais e ambientais. Tais abordagens envolvem análise de comportamentos emergentes: o como, num todo, um sistema se comporta, de uma forma que vai para além do estudo dos componentes isolados (MAHAFFY *et al.*, 2019).

Abordagens como a Ciência, Tecnologia e Sociedade – CTS (SANTOS; MORTIMER, 2002) requerem, obrigatoriamente, a interrelação dos seus componentes, diferentemente da abordagem sistêmica, que busca relacionar o maior número de componentes e discussões possíveis. No entanto, ambas abordagens se assemelham em seu objetivo, já que a abordagem CTS tem o objetivo central de desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões (SANTOS; MORTIMER, 2002). Sendo assim, o pensamento sistêmico se assemelha a abordagens do tipo interdisciplinar, uma vez que permite a abordagem de várias disciplinas (PIRES, 1998).

Com base no exposto, podemos identificar que o pensamento sistêmico oferece oportunidades para melhor compreender e estimular a aprendizagem dos

Apoio

estudantes de Química, de modo a tornar o Ensino de Química menos fragmentado, ou seja, não tratando os conceitos e disciplinas de forma isolada, sem a integração entre diferentes conhecimentos (OLIVEIRA *et al.*, 2018), além de ser propício à formação de estudantes cidadãos mais reflexivos e com visão mais ampla do real.

Sendo assim, neste trabalho buscamos explicitar algumas possibilidades do uso da abordagem do pensamento sistêmico na disciplina de Química Geral, no Ensino Superior.

METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido no componente curricular de Seminários II, do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), sendo um componente obrigatório do curso. De acordo com a ementa, os alunos devem participar como apresentadores e ouvintes de seminários semanais ministrados por professores da UFPel e de outras Instituições. Cada aluno deve apresentar um seminário que seja sobre um tema atual e relevante no contexto da linha de pesquisa em que está vinculado o projeto de dissertação ou tese, com enfoque interdisciplinar, apresentando elementos teóricos de contexto nacional e internacional. O seminário é submetido a uma banca examinadora composta por três docentes, de diferentes linhas do Programa. Os alunos deveriam escolher um tema vinculado às suas linhas de pesquisa, mas que seja diferente dos temas das suas pesquisas de Mestrado ou Doutorado.

Sendo assim, o tema escolhido para o seminário foi sobre o *Systems Thinking* e a sua abordagem no contexto do Ensino Superior, especificamente na disciplina de Química Geral, uma vez que esta disciplina permite abordar maior número de conceitos. Para tal estudo, foi feita uma pesquisa bibliográfica (ANDRADE, 2010) na edição especial do *Journal of Chemical Education*, publicado em 2019, que teve o foco de apresentar estudos voltados à definição e aplicação da abordagem sistêmica. A escolha da revista foi feita atendendo as exigências do componente curricular em que, as revisões devem ser realizadas em um repositório internacional e com um tema inovador.

A pesquisa bibliográfica está inserida principalmente no meio universitário e tem o objetivo de aprimorar e atualizar o conhecimento, através de investigação de obras já publicadas (SOUZA; OLIVEIRA; ALVES, 2021). De acordo com Andrade (2010), a pesquisa bibliográfica é o primeiro passo de uma pesquisa acadêmica, além de ser obrigatória nas pesquisas exploratórias, na delimitação do assunto de um trabalho, no desenvolvimento do assunto, nas citações e na apresentação das conclusões.

A edição temática da revista publicou 43 revisões e explorações do escopo e da definição do pensamento sistêmico no contexto do ensino de Química, bem como pesquisas e práticas educacionais orientadas por abordagens de pensamento sistêmico. Além disso, teve enfoque na aplicação do pensamento sistêmico ao ensino

Apoio



de química verde e sustentável e buscou incluir perspectivas interdisciplinares que possam impulsionar a inovação nessa área.

Para este estudo, selecionamos dois trabalhos que abordavam especificamente a utilização do pensamento sistêmico no contexto do Ensino Superior, na disciplina de Química Geral. Os demais estudos não contemplavam esse recorte. A escolha foi feita a partir de uma leitura breve dos resumos e palavras-chave. Os trabalhos selecionados foram: *Integrating the Molecular Basis of Sustainability into General Chemistry through Systems Thinking* (MAHAFFY *et al.*, 2019) e *Some Insights into Assessing Chemical Systems Thinking* (TALANQUER, 2019).

PROPOSTAS DE ENSINO COM BASE NA ABORDAGEM DO PENSAMENTO SISTÊMICO

O primeiro texto, traduzido como *Integrando a Base Molecular da Sustentabilidade em Química Geral através do Pensamento de Sistemas*, demonstra uma possibilidade de aplicação do pensamento sistêmico na disciplina de Química Geral em uma grande Universidade no Centro-Oeste dos Estados Unidos (MAHAFFY *et al.*, 2019). Os autores iniciam as discussões apresentando o conceito de pensamento sistêmico, já definido anteriormente, e também o conceito de base molecular da sustentabilidade, que pode ser definida como "as formas pelas quais a base material da sociedade e da economia fundamentam, as considerações de como as gerações atuais e futuras podem viver dentro dos limites do mundo natural" (MAHAFFY *et al.*, p. 2731, 2019, tradução nossa). Os autores apontam o papel central da Química na análise e na transformação da matéria (essencial para todos os aspectos da sociedade), e estabelecem a necessidade, tanto da prática da Química e da Educação, para contemplar a sustentabilidade da Terra e da sociedade.

Mahaffy *et al.* (2019) demonstram algumas das formas pelas quais o pensamento sistêmico pode se aplicar a um conteúdo de Química Geral, com o exemplo do estudo sobre a amônia e o ciclo de nitrogênio reativo planetário, e apresentam maneiras pelas quais o pensamento de sistemas pode ajudar a orientar esse aprendizado em direção à base molecular da sustentabilidade. Com base na reação Haber-Bosch ($N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$) geralmente apresentada como um exemplo isolado em uma unidade de equilíbrio químico, os autores indicam que o pensamento sistêmico pode equipar os professores para ampliar sua atuação e considerar outros aspectos, como os sociais e econômicos (ao explorar a utilização e custo de compostos amoníacos) e de sustentabilidade (ao considerar o impacto ambiental, questões energéticas, descarte, entre outros).

Além disso, os autores apresentam uma análise sobre a disciplina de Química Geral, identificando a presença da reação de Haber-Bosch em praticamente todos os livros de química. No entanto, essa reação, que desempenha um papel central na Química e em compostos reativos de nitrogênio, é encontrada de forma que reflete as reações químicas e processos como fatos isolados destinados a demonstrar aspectos da química descritiva, conceitos fundamentais, princípios ou cálculos matemáticos.

Apoio



Ou seja, a reação de obtenção da amônia é encontrada como um exemplo isolado no capítulo de termodinâmica, seguida por questões matemáticas ou conceituais relacionadas aos cálculos de equilíbrio, ou ainda, ao indicar a importância do catalisador em um capítulo ou unidade sobre cinética, mas sem apresentar qualquer relação com outros conceitos químicos (como ligações químicas ou questões energéticas), nem com outras áreas de conhecimento.

O pensamento sistêmico fornece estrutura e ferramentas para ajudar os educadores de Química Geral a melhor explorar a reação química em ciclos de compostos nitrogenados e de sustentabilidade. De modo geral, Mahaffy *et al.* (2019) apresentam desde a implicação do uso da amônia em fertilizantes, na agricultura, até a utilização em explosivos e munições. Com isso, indicam que uma abordagem de pensamento de sistemas pode expandir a cobertura reducionista da reação Haber-Bosch a uma abordagem mais holística, permitindo analisar e sintetizar componentes do Sistema ou fazer interconexões entre o conteúdo químico, as questões envolvendo matéria e energia da Terra e os sistemas sociais.

Por fim, os autores apontam benefícios e/ou sugestões para os professores de Química Geral, para viabilizar a relação entre o pensamento sistêmico e o ensino da base molecular da sustentabilidade, por exemplo: a) articular o pensamento de sistemas com currículo, pedagogias e avaliações; pode ser um passo importante para desenvolver ambientes de aprendizagem que conectam o conhecimento da química às questões sociais, tecnológicas, econômicas e ambientais; b) buscar a implementação da abordagem sistêmica junto à formação de professores, para o desenvolvimento profissional dos educadores em Química; c) considerar a complexidade, entender a carga cognitiva e identificar a compreensão prévia do estudante de conceitos integrais tanto ao conteúdo da química quanto à compreensão das interconexões com os sistemas terrestres e sociais; d) incorporar princípios de sustentabilidade em todo o currículo da Química, apontando para temas da sociedade e da economia, considerando como as gerações presentes e futuras podem viver dentro dos limites do mundo natural; e) considerar as principais atividades dos químicos, para analisar, caracterizar e transformar o mundo material, devem ilustrar que os produtos químicos têm tanto benefícios quanto perigos, e que estes devem ser considerados em conjunto; f) sugerir conteúdos e abordagens da química ambiental, da química verde e sustentável, da análise do ciclo de vida e da química, em Cursos e disciplinas, como em Química Geral e Orgânica; e g) incluir diretrizes e motivações para introduzir abordagens de pensamento sistêmico e de sustentabilidade.

O segundo artigo, traduzido como *Algumas percepções sobre a avaliação do pensamento sistêmico em Química* (TALANQUER, 2019), fornece informações sobre as questões relacionadas à avaliação da compreensão dos alunos na perspectiva sistêmica, no curso de Química Geral na Universidade do Arizona. O texto busca fornecer algumas ideias sobre a avaliação da compreensão dos estudantes dentro de

Apoio



uma perspectiva de pensamento sistêmico, contribuindo em discussões sobre os desafios da integração desse pensamento na Educação Química.

Talanquer (2019) aponta que uma abordagem de pensamento sistêmico na Educação Química necessita de um foco contextual, enfatizando a importância de preparar cidadãos e cientistas informados e que podem agir e tomar decisões de forma responsável sobre os desafios enfrentados pelas sociedades modernas, a exemplo das mudanças climáticas, acesso à água e à energia limpa. Nesse sentido, a abordagem busca educar para olhar o mundo numa perspectiva de ação sustentável, analisando criticamente as complexas interações entre os sistemas humano e terrestre, engajando-se em ações responsáveis em direção à sustentabilidade global.

O pensamento sistêmico na Química envolve alguns componentes centrais como a integração de uma abordagem de raciocínio mecanicista, um foco baseado no contexto do estudante e uma perspectiva de ação sustentável, no desenvolvimento e na aplicação do conhecimento químico, nas práticas e nas formas de pensar na Educação em Química (TALANQUER, 2019).

Talanquer (2019) compreende que as metas específicas de aprendizado podem variar dependendo do contexto – a exemplo do nível educacional, do público-alvo, dos conhecimentos, práticas e formas de raciocínio desejados –, e elas devem ajudar a avaliar três competências principais dos estudantes: i) a aplicação de entendimentos relevantes, ao serem capazes de acionar e manifestar diferentes tipos de conhecimentos químicos, práticas e formas de raciocínio que são produtivos na análise de sistemas ou fenômenos de relevância para as sociedades modernas; ii) a integração produtiva de entendimentos na produção de sensações, ao serem capazes de integrar conhecimentos químicos relevantes, práticas e formas de raciocínio na construção ou aplicação de modelos mecanicistas para fazerem sentido os sistemas ou fenômenos de problemas específicos; e iii) a aplicação reflexiva de entendimentos na tomada de decisões, ao serem capazes de aplicar conhecimentos químicos, práticas, e formas de raciocínio para tomar decisões levando em consideração as restrições existentes e potenciais benefícios, custos e riscos em diferentes dimensões, a exemplo da individual, da social, da ambiental e da econômica.

De acordo com esses pontos, o autor buscou avaliar a aprendizagem dos estudantes em ambientes de ensino que promovem o pensamento de sistemas químicos, ao considerar até que ponto os estudantes podem integrar ideias químicas centrais, práticas científicas essenciais (por exemplo, interpretação de dados, modelagem, explicação e argumentação), práticas disciplinares (por exemplo, caracterização de substâncias, análise de reação e controle), e formas transversais de pensar (por exemplo, raciocínio estrutura-propriedade, raciocínio causal) na análise de sistemas direcionados.

Para realizar a avaliação do pensamento sistêmico, Talanquer (2019) desenvolveu o estudo com 25 alunos concluintes da disciplina de Química Geral e

Apoio



utilizou o tema “Um problema de poluição: chumbo na água potável”. O autor realizou uma avaliação formativa, para identificar até que ponto os estudantes poderiam integrar e aplicar seu entendimento de estrutura-propriedade e termodinâmica, na análise de um problema. Em particular, a avaliação pede aos alunos que analisem um conjunto de reações químicas potencialmente ligadas à crise da água que afligiram a cidade de Flint, Michigan, Estados Unidos, nos últimos anos, para construir uma explicação para o que aconteceu. Ou seja, o autor avaliou a extensão com que os estudantes analisam os dados químicos relevantes e o modo como constroem raciocínios razoáveis para um fenômeno complexo.

A avaliação cria oportunidades para que os estudantes demonstrem seu pensamento sistêmico em Química, exigindo a análise de um sistema complexo composto de diferentes subsistemas (por exemplo, ar atmosférico, água líquida de diferentes fontes, tubos sólidos) e componentes diversos (por exemplo, espécies gasosas, aquosas e sólidas, compostos iônicos e moleculares, ácidos e bases). Estes componentes estão ligados entre si através de múltiplas interações físicas e químicas que ocorrem em diferentes escalas, no tempo e no espaço. O reconhecimento dessas interações é fundamental para dar sentido ao problema visado e para propor soluções potenciais. Assim, os estudantes devem integrar conhecimentos químicos que são tipicamente apresentados de forma compartimentada nos currículos tradicionais de química (por exemplo, propriedades de elementos e compostos, relações estrutura-propriedade, análise termodinâmica da direcionalidade da reação, equilíbrio químico, química ácido-base). A tomada de decisão deve levar em consideração as restrições e as soluções impostas pela natureza, as propriedades do sistema, e os impactos na saúde e no ambiente.

Como resultado, em geral, os estudantes que deram respostas mais sofisticadas eram capazes de, sem muita ajuda, prever qualitativamente cada uma das reações químicas, com base na análise da composição e da estrutura das substâncias envolvidas, a exemplo da discussão sobre a viabilidade termodinâmica da reação química - $\text{Pb(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PbO(s)}$ ($\Delta H^\circ = -218.1 \text{ kJ}$; $\Delta S^\circ = -98.7 \text{ J/K}$):

“Então, olhando para esta reação, eu olharia para os fatores energéticos e a entropia. Energeticamente, no que se refere ao intramolecular, é muito provável que seja energeticamente favorecido para o produto, porque os produtos são AB, o que significa que a energia potencial é menor no lado do produto do que no lado dos reagentes. Assim, em termos energéticos, seria favorecido em termos de produto. No entanto, com a entropia, dependeria da fase. Portanto, seria mais provável que os reagentes se formassem em vez dos produtos... Agora, como a energia é favorecida em temperaturas mais baixas, talvez em temperaturas mais baixas o produto seja favorecido. Então, se estivesse em uma temperatura mais alta poderíamos impedir o produto de se formar (Aluno 21)”. (TALANQUER, 2019, p. 2921, tradução nossa).

Nesse exemplo, o estudante foi capaz de identificar características composicionais e estruturais de reagentes e produtos que poderiam ser usados para avaliar quais deles eram mais energeticamente e entropicamente estáveis. O autor

Apoio



argumenta que no ensino de Química tradicional, os alunos aprendem a analisar qual a natureza das ligações químicas em uma espécie (por exemplo, covalente X iônica), homonuclear (AA) x heteronuclear (AB) afeta a energia potencial (estabilidade energética), bem como o estado da matéria, massa molecular e complexidade molecular afetam o número de partículas de configurações que um sistema pode adotar (estabilidade entrópica). Como ilustrado no trecho, os estudantes que têm raciocínios mais avançados também foram capazes de prever o efeito que a temperatura pode ter sobre a direcionalidade do processo, a exemplo de que o produto não é favorecido à baixa temperatura, mas é favorecido, neste caso, a altas temperaturas.

Estudantes que desenvolvem o pensamento sistêmico demonstraram capacidade independente de reconhecer componentes relevantes em um sistema (por exemplo, componentes metálicos X moleculares X iônicas, homonucleares X heteronucleares), identificar as propriedades relevantes desses componentes (por exemplo as ligações heteronucleares tendem a ser mais fortes que as homonucleares), considerar simultaneamente o efeito de diferentes variáveis sobre o comportamento de um sistema (por exemplo, energético e fatores entrópicos), e integrar diferentes conceitos e ideias quando fazendo previsões (por exemplo, integrando informações estruturais no nível submicroscópico com quantidades termodinâmicas no nível macroscópico).

Os participantes do estudo também foram convidados a utilizar informações fornecidas para gerar uma explicação razoável para o problema em consideração: o aumento da concentração de chumbo na água quando a fonte de água potável era mudada. Um número significativo de estudantes reconheceu potenciais conexões entre alguns dos processos químicos descritos na avaliação, mas tiveram dificuldade para relacionar todos eles em uma explicação química coerente, a exemplo de um dos alunos que relacionou as três reações químicas que ocorrem no processo, mas não soube explicar como a relação estava ocorrendo.

Alguns participantes puderam ver as reações químicas em "cadeias futuras" para prever como os produtos de uma reação podem participar como reagentes em outro processo. Muitos deles, no entanto, se esforçaram para se engajar em "encadeamento retrógrado", analisando os efeitos que o consumo de um reagente em um processo teria em uma reação diferente na qual uma espécie é formada como um produto. Contudo, com diferentes graus de suporte, a maioria dos participantes construíram uma razoável hipótese em que o aumento dos níveis de acidez da água resultaria em aumento da dissolução do carbonato de chumbo formado pela interação do chumbo metálico nos tubos com oxigênio e dióxido de carbono na água ou na atmosfera. Em particular, os estudantes que atuaram em níveis mais avançados foram capazes de indicar diferentes conceitos em suas análises para construir explicações sólidas.

Apoio



Segundo o autor, embora muitos estudantes investigados expressem sofisticados raciocínios teóricos sobre as entidades presentes no sistema e os processos químicos em que eles estavam envolvidos, o pensamento reflexivo no contexto foi bastante ingênuo. A maioria dos participantes poderia identificar e descrever as interações gerais entre diferentes componentes do sistema, tais como oxigênio e dióxido de carbono na atmosfera ou substâncias ácidas na água com os produtos de oxidação do chumbo. No entanto, as suas opiniões sobre a natureza real de algumas das substâncias envolvidas, e de como detectar, quantificar, ou separá-los em seus ambientes reais foram muitas vezes ingênuas. Alguns deles, por exemplo, pensavam que o chumbo era encontrado em forma metálica na água e que se pode separar filtrando ou evaporando a água. Para detectar a presença do poluente, vários participantes mencionaram o uso de indicadores ou um reagente não especificado, que pode reagir de forma seletiva com chumbo. Outros mencionaram técnicas espectroscópicas, mas de maneira genérica, sem identificar um método específico.

A maioria dos estudantes indicaram estratégias para redução da concentração de chumbo na água, o que indica a falta de consciência ou compreensão da escala do sistema e das restrições práticas. Eles propuseram, por exemplo, acrescentar mais água para o sistema, para precipitar o chumbo adicionando outras substâncias (por exemplo, Na_2CO_3 , brometo), ou para adicionar uma substância para aumentar o pH (por exemplo, CO_3^{2-} , NaOH). Estas propostas foram feitas, no entanto, sem muita consideração das dimensões espaciais e temporais reais do sistema, e de quaisquer métodos práticos, dos desafios na implementação em grande escala e para um tempo determinado. Da mesma forma, os participantes do estudo não levaram em consideração nenhum estudo ambiental, preocupações de saúde, econômicas ou sociais relacionadas com as propostas que eles fizeram. Talvez, não surpreendentemente, sua mentalidade parecia de estudante resolvendo um problema de pequena escala em um laboratório e não de um profissional que lida com uma grande crise ambiental e sanitária.

Talanquer (2019) conclui que o foco do curso de Química Geral tinha sido bastante acadêmico, trabalhando com modelos bastante simplificados de sistemas relevantes e sem muita consideração dos efeitos reais e restrições impostas pelas necessidades reais. Ainda, que o engajamento na análise do meio ambiente, saúde, econômico e social, dos benefícios, custos e riscos da atividade química foram limitados, não contemplando o pensamento sistêmico.

Os estudantes, na sua maioria, não conseguiram traduzir seus entendimentos teóricos em ações concretas e razoáveis no mundo real. Os dados também apontam para o grande desafio de desenvolver uma perspectiva de ação sustentável no raciocínio estudantil. Nenhuma das ações sugeridas pelos participantes no estudo piloto parecia considerar seus impactos sobre a saúde humana ou o ambiente. Apesar destas circunstâncias, o desempenho na avaliação revelou potencialidades e desafios no ensino e na aprendizagem com base em uma estrutura de pensamento sistêmico.

Apoio

CONCLUSÕES

A abordagem do pensamento sistêmico, a exemplo dos artigos apresentados, pode orientar propostas de ensino de Química no contexto de cursos de Bacharelado e/ou de Licenciatura, contribuindo com a aprendizagem dos estudantes sobre algum conteúdo ou tema estudado. A abordagem também pode contribuir com o aumento das percepções sobre o impacto da química como Ciência, seus benefícios (e malefícios) na sociedade, fortalecendo ainda mais a capacidade de contribuir para o enfrentamento de problemas globais e do avanço do desenvolvimento sustentável global, a exemplo de discussões que perpassam as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

Os textos apresentados também sinalizam a possibilidade de adotar uma perspectiva de pensamento sistêmico no currículo, no desenvolvimento, na instrução e na avaliação em cursos de Química, e adaptá-los a outros níveis educacionais, o que ajudaria na formação de pessoas que pudessem melhor desenvolver a capacidade para a compreensão e a tomada de decisão frente a problemas complexos que permeiam a sociedade. Os desafios em propor e fazer não devem ser minimizados, haja vista as demandas já existentes aos cursos de Química, mas servem como exemplos que podem ser readaptados ao contexto de outros componentes curriculares e/ou projetos do Ensino Superior e/ou da Educação Básica. Além disso, a disseminação de tal abordagem tem potencial de contribuir com processos de formação docente, seja quando inserida em componentes curriculares do Ensino Superior ou quando constitui pressupostos teóricos que envolvem as atividades de ensino no contexto da Educação Básica.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação**. São Paulo, SP: Atlas, 2010.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científico-Tecnológica Para Quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 2, p. 122-134, 2001.

CONSTABLE, D. J. C.; JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, C.; MATLIN, S. A. Navigating Complexity Using Systems Thinking in Chemistry, with Implications for Chemistry Education. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 2689-2699, 2019.

JOHNSTONE, A. H. Macro and microchemistry. **School Science Review**, p. 377-379, 1982.

LASKER, G. A. Connecting Systems Thinking and Service Learning in the Chemistry Classroom. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 2710-2714, 2019.

LIMA, J. O. G. De. Perspectivas de novas metodologias no Ensino de Química. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 12, n. 136, p. 95-101, 2012.

Apoio





MAHAFFY, P. The Future Shape Of Chemistry Education. **Chemistry education: research and practice**, v. 5, n. 3, p. 229-245, 2004.

MAHAFFY, P. G.; KRIEF, A.; HOPF, H.; MEHTA, G.; MATLIN, S. A. Reorienting chemistry education through systems thinking. **Nature Reviews Chemistry**, v. 2, n.4, p. 1-3, 2018.

MAHAFFY, P. G.; MATLIN, S. A.; WHALEN, J. M.; HOLME, T. A. Integrating the Molecular Basis of Sustainability into General Chemistry through Systems Thinking. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 2730-2741, 2019.

MAHAFFY, P. G.; MATLIN, S. A.; HOLME, T. A.; MACKELLAR, J. Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 5, p. 362-370, 2019.

OLIVEIRA, A. L. de; OLIVEIRA, J. C. P. de; NASSER, M. J. da S.; CAVALCANTE, M. da P. O Jogo Educativo como Recurso Interdisciplinar no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 2, p. 89-96, 2018.

PIRES, M. F. de C. Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade no ensino. **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, v. 2, p. 173-182, 1998.

RODRIGUES, T. S.; SILVA, F. K. D.; PASTORIZA, B. S.; SANGIOGO, F. A.; SOARES, A. C.; SILVA, V. S. Análise sobre as formas de apresentação do conhecimento químico: o conceito de ligações químicas em livros didáticos. **Química Nova na Escola**, v. 44, p. 428-438, 2022.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em educação em ciências**, v. 2, n. 2, p. 1-23, 2002.

SANTOS, W. L. P. dos; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. 4ª ed., Ijuí: Unijuí, 2010.

SOUSA, A. S. de; OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L. H. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, p.64-83, 2021.

TALANQUER, V. Some Insights into Assessing Chemical Systems Thinking. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 2918-2925, 2019.

AGRADECIMENTOS: À CAPES (001), FAPERGS, CNPQ, LABEQ e ao PPGQ.

Apoio

