

O ensino de Química na construção de um futuro sustentável: princípios da Química Verde e questões curriculares

Alessandra Carvalho de Sousa ^[1], Cristina Emanuelle da Silva ^[2]

[1] alemelcarv@gmail.com. [2] cristinaemanuelle@hotmail.com. IFRN, Campus Apodi.

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa de iniciação científica que proporcionou um aprofundamento teórico e metodológico sobre o ensino de Química para a sustentabilidade. A proposta inclui-se no contexto das discussões que se estão desenvolvendo em nível mundial sobre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Agenda 2030), e seu objetivo consistiu em analisar a adequação pedagógica dos princípios da Química Verde no currículo e nas práticas curriculares do Curso de Licenciatura em Química do IFRN, Campus Apodi. Trata-se, portanto, de um estudo de natureza qualitativa, que propiciou uma compreensão holística sobre a incorporação dos princípios da Química Verde no currículo vigente, por meio da análise de conteúdo dos principais documentos curriculares e de entrevistas semiestruturadas aplicadas aos docentes das disciplinas do núcleo específico do referido curso. Os resultados indicaram, sobretudo, ausência de referencial teórico e metodológico sobre o ensino de Química para a sustentabilidade no Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Química; tampouco se verificou a incorporação da Química Verde e seus princípios nas ementas que o compõem, tanto de forma implícita como de forma explícita. Dessa forma, espera-se que esta pesquisa sirva como referência válida para se pensar o ensino nas mais diversas áreas do conhecimento, mediante um tratamento interdisciplinar dos conteúdos que cada princípio da Química Verde aborda.

Palavras-chave: Ensino de Química. Química Verde. Desenvolvimento Sustentável. Práticas curriculares.

ABSTRACT

This study presents the results of a scientific initiation research that provided greater theoretical and methodological development on the teaching of Chemistry to promote sustainability. This proposal is related to discussions that are taking place worldwide about the Sustainable Development Goals (2030 Agenda). The research aimed at analyzing the pedagogical adequacy of the Green Chemistry principles in the curriculum and curricular practices of the Chemistry Undergraduate Course of IFRN, at the Campus of Apodi (RN/Brazil). This is a qualitative study that fostered a holistic comprehension about the incorporation of the Green Chemistry principles in the curriculum and the appropriation of specific concepts about this theme. It was done through contents analysis of the main curricular documents of the course and through semi structured interviews that were carried out with the professors of the specific subjects of the course. The analysis of the data indicated the lack of a theoretical and methodological background on Chemistry teaching to promote sustainability on the Pedagogical Project of the Undergraduate Course in Chemistry; the incorporation of Green Chemistry on the course's syllabuses was not present as well, nor in an explicit or implicit way. Thus, we hope this research can become a reference when thinking about teaching in different fields of study, through an interdisciplinary practice of the contents that each Green Chemistry principle discusses.

Keywords: Chemistry teaching. Green Chemistry. Sustainable Development. Curricular practices.

1 Introdução

Estudos científicos nas mais diversas áreas do conhecimento caracterizam a situação atual do planeta como insustentável e revelam um cenário que conduz, inevitavelmente, a reflexões sobre como a humanidade deve enfrentar os desafios emergentes em todos os âmbitos da sociedade, na direção de alcançar o Desenvolvimento Sustentável (DS)¹, e como promover padrões de comportamento sustentáveis que sejam transmitidos às próximas gerações.

Estes desafios conduziram à proclamação, em 2002, da Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (2005-2014) pela UNESCO, com a finalidade de ressaltar a educação como ferramenta essencial para o desenvolvimento sustentável e de aperfeiçoar os sistemas educacionais para incrementar uma educação que acompanhe os complexos processos de mudanças para um futuro sustentável de forma crítica e participativa (UNESCO, 2002).

Com base nesta linha de pensamento, como tornar realidade esta visão tão abstrata a partir da educação, especificamente no subsistema da educação superior? Como incluir a sustentabilidade ambiental no currículo da escola? Que inovações os docentes podem alcançar no âmbito do currículo e da instrução, com a finalidade de dirigir adequadamente a sua prática pedagógica na direção de alcançar o desenvolvimento sustentável?

Conscientes destas e de outras questões, a temática central deste artigo se vincula ao eixo “reorientar os programas educacionais em todos os níveis e modalidades em direção ao Desenvolvimento Sustentável”, relacionado aos Objetivos da Agenda 2030 (ONU, 2015), e apresenta como objeto de estudo a adequação pedagógica dos 12 (doze) princípios da Química Verde (QV) no currículo e nas práticas curriculares da Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Apodi.

Trata-se, portanto, de apresentar os resultados de um projeto de pesquisa, desenvolvido e financiado pela Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação (PROPI) do IFRN, que se configura como uma referência válida

não só para o ensino de Química, mas para o ensino nas diversas áreas do conhecimento, mediante uma abordagem interdisciplinar envolvendo os princípios da Química Verde.

2 Referencial teórico

A indústria química contribui para a sobrevivência da sociedade, de forma a melhorar e manter a boa qualidade de vida, produzindo, por exemplo, petroquímicos, agroquímicos, produtos farmacêuticos, polímeros e tintas. Em dois séculos de existência, essa indústria poluiu o meio ambiente com os seus resíduos, seguindo o parâmetro de manter a “boa qualidade de vida”, sem considerar os impactos negativos ao meio socioambiental.

Em consequência disto, a Agência Ambiental estadunidense, *Environmental Protection Agency* (EPA), lançou, em 1991, o programa intitulado “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção da Poluição”, que financiava projetos de pesquisa que tivessem o propósito de preservar o meio ambiente na área das ciências. Em relação à área de Química, em 1993, há a inclusão de outros tópicos como solventes ambientalmente corretos, compostos inócuos e a expansão e renomeação desse programa, adotando oficialmente o termo *Green Chemistry*, que, traduzido, significa Química Verde (QV)², com a intenção de amenizar os danos causados pela indústria química convencional (MACHADO, 2011).

A partir de então, a QV passa a ser campo de estudo, sendo definida pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (União Internacional da Química Pura e Aplicada- IUPAC) como a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias tóxicas (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Dessa maneira, a QV se configura como uma área da Química e da Engenharia Química focada na criação de novos produtos e processos que diminuem o uso e a geração de substâncias perigosas. Ao contrário da química convencional, a QV tem como objetivo reduzir dejetos, materiais, energia, fontes não renováveis e substâncias de altos riscos para o meio ambiente (MESTRES, 2013).

Tal definição contribuiu para o incremento significativo de estudos e pesquisas nesta nova área

1 O conceito de “Desenvolvimento Sustentável” foi definido pela primeira vez em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, através do Relatório de Brundtland. Trata-se de um modelo de desenvolvimento que busca satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1989).

2 No decorrer do artigo, utilizar-se-á a sigla “QV” para se fazer referência ao termo “Química Verde”.

de conhecimento e ganhou força ao longo da década 1990, com a publicação dos 12 (doze) princípios da Química Verde, por John Warner e Paul Anastas (Tabela 1), guiados pelo compromisso de fomentar uma química limpa e sustentável, norteando a avaliação do impacto ambiental das pesquisas na área da Química.

Os doze princípios da QV respondem à obrigação ética de contribuir ao desenvolvimento e bem-estar de todos os cidadãos do mundo, sem prejudicar a natureza, nem as futuras gerações. Esta contribuição tem esse efeito pela abordagem sustentável da própria atividade química industrial, que já consegue enxergar a ameaça da viabilidade de sua produção pelo esgotamento irreversível e rápido das fontes de matérias-primas e pelas normas legais, formuladas em defesa do meio socioambiental, cada vez mais severas e economicamente onerosas.

A finalidade geral da QV designa, fundamentalmente, a redução da contaminação pelas substâncias nocivas para a saúde e para o meio ambiente, sem diminuir as vantagens sociais que a atividade química oferece. A QV contém os princípios de atuação para alcançar a sustentabilidade na produção das substâncias químicas (ANASTAS; WARNER, 1998) e se configura como fundamental para pensar a Química no século XXI.

3 Método da pesquisa

3.1 Opções metodológicas

No contexto das pesquisas que se desenvolvem no complexo e multidisciplinar campo da Educação Química, é importante que se tenham em consideração os enfoques dos diferentes paradigmas de pesquisa que as orientam, no sentido de promover o debate sobre as contribuições tanto das abordagens qualitativas e quantitativas de pesquisa como a utilização de ambas no processo de aproximação do objeto estudado.

Neste sentido, adotou-se o paradigma qualitativo (ANGROSINO, 2012; DENZIN; LINCOLN, 2012) para desenvolver um estudo analítico-crítico sobre a incorporação dos princípios da Química Verde no currículo e nas práticas curriculares do Curso de Licenciatura em Química do IFRN, Campus Apodi. Tal opção metodológica se justifica na evidência de que os enfoques oriundos do paradigma qualitativo são mais eficazes e frutíferos, já que permitem compreender os significados que os sujeitos implicados na pesquisa (discentes investigadores e professores da área

Tabela 1 – Os 12 Princípios da Química Verde

PRINCÍPIOS	OBJETIVOS DE APLICAÇÃO
Princípio 1° - Prevenção	Evitar a formação de resíduos para não tratá-los, eliminando assim a possibilidade de poluição futura.
Princípio 2° - Economia de átomos	Em uma reação ideal, as massas dos reagentes serão convertidas em produtos, sem sobra, diminuindo a formação de resíduos.
Princípio 3° - Síntese de produtos menos perigosos	Redução de toxicidade, tanto de reagentes quanto de produtos. Escolha de compostos menos perigosos.
Princípio 4° - Desenho de produtos seguros	Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.
Princípio 5° - Solventes e auxiliares mais seguros	O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes etc.) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário.
Princípio 6° - Busca pela eficiência de energia	A utilização de energia nos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos.
Princípio 7° - Uso de fontes renováveis de matéria-prima	Sempre que a técnica for economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.
Princípio 8° - Evitar a formação de derivados	A derivatização desnecessária deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.
Princípio 9° - Catálise	O uso de catalisadores (tão seletivos quanto possível) deve ser escolhido em substituição aos reagentes estequiométricos.
Princípio 10- Desenho para a degradação	Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.
Princípio 11- Análise em tempo real para a prevenção da poluição	Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.
Princípio 12- Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes	As substâncias bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico devem ser escolhidas a fim de minimizarem o potencial para acidentes químicos.

Fonte: Elaboração própria, com base na obra de Calvo-Flores e Dobado (2008)

específica do Curso de Licenciatura em Química do IFRN Campus Apodi) atribuem à sua prática docente.

Além disso, o enfoque metodológico adotado possibilitou analisar, compreender e interpretar: a) como os princípios da Química Verde são teorizados e vivenciados no currículo e nas práticas curriculares da Licenciatura em Química no IFRN, Campus Apodi; b) quais os objetivos, dificuldades e possibilidades da incorporação dos princípios da Química Verde no currículo da Licenciatura em Química; c) de que forma é concebida a relação entre teoria e prática no ensino de Química no curso de Licenciatura em Química do IFRN Campus Apodi.

3.2 Técnicas de coleta de dados adotadas

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizadas as seguintes técnicas de coleta de dados:

- **Pesquisa bibliográfica e documental** mediante o levantamento de referências teóricas e metodológicas já analisadas e publicadas por meios escritos e eletrônicos (Periódicos Capes, Biblioteca Virtual da USP e UNICAMP, Plataformas de Revistas Especializadas como Latindex e SciELO).
- **Análise de conteúdo** dos documentos curriculares oficiais do IFRN (Projeto Político-Pedagógico e Projeto Pedagógico de Curso da Licenciatura em Química) para analisar a incorporação dos princípios da Química Verde, de acordo com categorias de análise que esta ferramenta possibilita, tendo como base os pressupostos estabelecidos por Bardin (2009).
- **Entrevistas semiestruturadas** aos docentes da área específica (docentes com formação em Licenciatura em Química e Engenharia Química), no âmbito do IFRN Campus Apodi (contexto da pesquisa).

4 Análise dos dados e interpretação dos resultados

4.1 Análise de conteúdo dos documentos curriculares

Ao delimitar o objetivo geral da pesquisa que dá origem a este artigo, a saber: “analisar a adequação pedagógica dos princípios da Química

Verde no currículo e nas práticas curriculares da Licenciatura em Química do IFRN, Campus Apodi”, o interesse foi conhecer como estes princípios eram **teorizados e vivenciados** no currículo e nas práticas curriculares da Licenciatura em Química no IFRN Campus Apodi e quais eram os objetivos, dificuldades e possibilidades de sua incorporação no currículo da Licenciatura em Química.

A partir daí, o primeiro procedimento metodológico foi realizar uma pesquisa bibliográfica e documental, para, então, dar início à análise de conteúdo, uma técnica de análise de dados que permite examinar exaustivamente textos e documentos para conhecer os indícios explícitos e implícitos do objeto que se quer analisar – no caso específico desta pesquisa, os documentos curriculares oficiais do IFRN, já mencionados no ponto anterior.

Em relação ao Projeto Político-Pedagógico do IFRN, a análise de conteúdo centrou-se no tópico referente às “Concepções, princípios e fundamentos do currículo e práticas institucionais”, em que se apresentam as concepções de “ser humano”, “sociedade”, “cultura”, “ciência”, “tecnologia”, “trabalho” e “educação” e são expostos os fundamentos teóricos e metodológicos que sustentam essas concepções, que confirmam a identidade do IFRN como instituição de ensino básico, técnico e tecnológico.

Na análise dessas concepções, constatamos que apenas nas concepções de “ciência”, “tecnologia” e “trabalho”, os princípios da Química Verde são apresentados, ainda que de forma implícita, como se pode observar nos fragmentos destacados do Projeto Político- Pedagógico do IFRN (2012, p. 40-42):

[da concepção de ciência] [...] da concepção do universo como um cosmo mecânico, passa-se para uma concepção mais **orgânica e complexa do mundo**, afinada com paradigma **bioecológico** [...] parte-se da ideia de que os avanços científicos devem contribuir para a erradicação da pobreza e para a **harmonia com a natureza e com a sua sustentabilidade**, preservando uma cultura da paz e da **harmonização entre ciência, tecnologia e sociedade** [...] a ciência, no século XXI, deve ser capaz de promover processos educacionais de qualidade social, estabelecer fluência entre a geração de conhecimento e a sua transformação em bens com valor econômico e manter interdependência entre as sustentabilidades ambiental, econômico e político-social.

Pode-se perceber que, no documento curricular analisado, a Química Verde, um campo de estudo da Engenharia Química que surge na década de 1990, traz justamente as preocupações apresentadas nesta concepção, já que está direcionada à criação de novos produtos e processos que diminuem o uso e a geração de substâncias perigosas e que, ao contrário da química convencional, tem como objetivo reduzir dejetos, materiais, energia, fontes não renováveis e substâncias de altos riscos para o meio ambiente, comprometendo-se com a sustentabilidade do planeta (MESTRES, 2013).

Já na concepção de tecnologia, o Projeto Político-Pedagógico do IFRN deixa explícito o que é defendido pelo campo da Química Verde no que se refere à relação entre homem, tecnologia e meio ambiente. Deixa transparecer o desafio da ciência contemporânea na direção de “contribuir para a constituição de uma sociedade ambientalmente sustentável” (IFRN, 2012, p. 50). Para isso, aponta o seguinte caminho:

[da concepção de tecnologia] [...] a humanidade, atualmente, configura sua experiência e seu contexto de eclosão a partir do uso de uma metodologia científica determinada, cuja meta fundamental é potencializar tecnologias possibilitadoras da cautela e do controle de fenômenos naturais [...] a compreensão do tipo de **educação tecnológica** a ser **oferecida pelo IFRN** deve levar em consideração a busca por uma **associação natural e social entre homem e meio ambiente**, uma associação que reconfigure e redimensione as relações dos homens entre si e com o meio ao qual pertencem. A pesquisa e a extensão devem contribuir para a construção de tecnologias sustentáveis e comprometidas socialmente com a melhoria da qualidade de vida da população (IFRN, 2012, p. 43-44).

Este importante documento curricular segue a mesma linha de pensamento ao apresentar e defender a concepção de “trabalho”, que vem ligada ao princípio de currículo integrado e à Política de Educação Superior de Graduação da instituição. No que se refere à concepção de currículo integrado, há a preocupação com o “desenvolvimento de competências básicas e profissionais a partir tanto de conhecimentos científicos e tecnológicos quanto da formação cidadã e da sustentabilidade ambiental” (IFRN, 2012, p. 57).

Com relação à Política de Educação Superior de Graduação, que é o âmbito dessa pesquisa, o documento revela, em sua concepção de educação superior, o “compromisso com o desenvolvimento socioeconômico sustentável” (IFRN, 2012, p. 122). Além disso, deixa muito clara a preocupação de que:

[...] a organização curricular dos cursos busca possibilitar a compreensão crítica e a avaliação dos impactos sociais, econômicos e ambientais, frutos da interferência do homem na natureza, em virtude dos processos de produção e de acumulação de bens (IFRN, 2012, p. 124).

Ademais, há a garantia de um currículo que esteja impregnado de elementos da cultura, da historicidade, da política e da ética, tendo em vista o desenvolvimento social e sustentável da sociedade, o que reflete, de forma significativa, o compromisso com a sustentabilidade socioambiental. Como já mencionamos anteriormente, embora não haja menção explícita da “Química Verde”, o documento não deixa de abordar os preceitos que respondem à obrigação ética de contribuir ao desenvolvimento e bem-estar de todos os cidadãos do mundo, sem prejudicar a natureza nem as futuras gerações.

Concomitante à análise do Projeto Político-Pedagógico, realizou-se também a leitura minuciosa do Projeto Pedagógico do Curso Superior de Licenciatura em Química do IFRN. O trabalho consistiu em selecionar as disciplinas que tivessem relação com a temática da Química Verde, tanto explicitamente (nos conteúdos programáticos e objetivos) como de forma implícita (conteúdos relacionados à temática). Nessa etapa, foram selecionadas as ementas das seguintes disciplinas: Química Geral I e II, Química Experimental, Química Inorgânica Descritiva, Química Orgânica, Mecanismos de Reações Orgânicas, Química Ambiental, Química Qualitativa, Química Quantitativa, Métodos cromatográficos e Educação Ambiental.

Logo após a seleção das ementas, foi possível, por meio do Sistema Unificado de Administração Pública (SUAP) do IFRN, conhecer o corpo de docentes dessas disciplinas e já elaborar os primeiros tópicos das entrevistas semiestruturadas. Ademais, foi possível observar em todas as disciplinas a incorporação, ainda que teórica, de conteúdos relacionados à Química Verde. Em algumas dessas disciplinas, como é o caso de Educação Ambiental, há a presença explícita dos

Princípios da Química Verde, tanto nos conteúdos, como nos objetivos e procedimentos metodológicos.

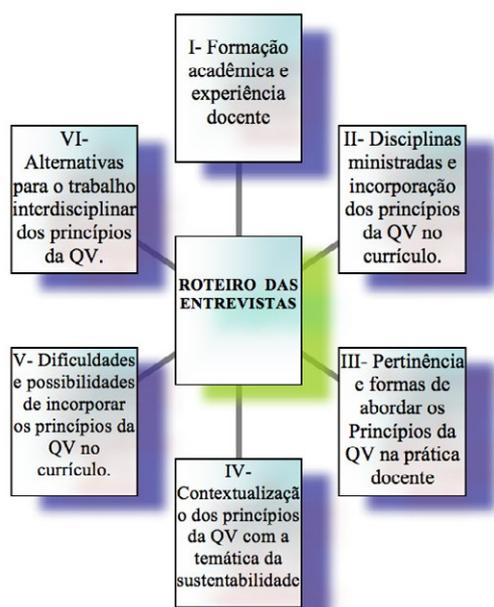
4.2 Entrevistas semiestruturadas como estratégia dialógica na pesquisa qualitativa

Os dados obtidos a partir das entrevistas semiestruturadas realizadas com os docentes das disciplinas específicas do curso de Licenciatura em Química possibilitaram, essencialmente, conhecer como, de fato, a QV se materializava na prática docente. Ademais, as entrevistas permitiram ter acesso ao contexto e facilitaram o caminho até a compreensão dos significados dos dados colhidos. De acordo com Denzin e Lincoln (2012), a técnica da entrevista permite correções, esclarecimentos e adaptações que a convertem em um instrumento eficaz na obtenção dos dados, em que os entrevistados e entrevistador constroem de forma coletiva uma nova versão sobre a temática trabalhada.

Dentre as modalidades de entrevistas, a pesquisa adotou a modalidade semiestruturada (ANGROSINO, 2012). De forma distinta da abordagem estruturada, na semiestruturada o entrevistador tem um conjunto de questões ou pontos predefinidos, mas tem a liberdade para pôr outras questões caso algum interesse surja *a posteriori*.

Na Figura 1, apresentam-se os pontos que guiaram a elaboração das questões das entrevistas semiestruturadas.

Figura 1 – Esquema lógico das entrevistas



Fonte: Elaboração própria

No ponto relacionado à formação docente, dos 06 (seis) docentes entrevistados, 04 são licenciados em Química; 01 docente tem formação em Engenharia Química e 01 docente é bacharel em Química Industrial. Todos os entrevistados têm pós-graduação na área de Química em nível de Mestrado e Doutorado, sendo 05 docentes doutores. Vale ressaltar que nenhum deles desenvolveu pesquisas de pós-graduação na área da QV, que é a temática do objeto de estudo desta pesquisa.

Ao se indagar sobre se na formação tanto em nível de graduação ou pós-graduação, tiveram acesso à temática da QV, fosse de forma explícita ou implícita, as respostas revelaram que:

[...] Não se falou explicitamente em Química Verde, mas em alguns momentos se falou na necessidade de diminuir os reagentes, mas não com visão da Química Verde em si, mas com visão mais empresarial de diminuir custos, de melhorar a produção e tal. Não sei se houve algum momento que se discutiu especificamente questões pra visão ambiental mesmo, mas para visão de custos por ser Química Industrial, trabalhávamos muitos processos Químicos voltados para a produção (ENTREVISTADO B).

Na minha formação mesmo, na época da minha graduação isso em nenhum momento foi abordado, haja vista que são temas recentes, novos, temas bem atuais. Na época da minha graduação isso não foi relacionado, mas no meu mestrado que foi na área de Ciências da Natureza, aí nós trabalhamos bastante essa questão ambiental (ENTREVISTADO C).

[...] Na graduação foi trabalhado bem no início quando se começou a se falar na Química Verde [...]. O professor de Química Ambiental falou sobre os pontos da Química Verde e trabalhou na disciplina dele. No meu mestrado, o meu orientador que trabalha com remediação ambiental, usava muito os princípios da Química Verde e uma parte dos meus experimentos foram usando os princípios da Química Verde. A gente procurava usar solventes menos tóxicos ao invés de solventes mais tóxicos, na extração do nosso material (ENTREVISTADO E).

De acordo com os dados coletados nessa questão, foi possível constatar que a temática da QV não era

contemplada como conteúdo obrigatório na formação inicial dos docentes. Somente se verifica, de forma implícita, a presença de práticas docentes relacionadas à temática na pós-graduação, mediante experiências pontuais não direcionadas ao trabalho efetivo com os princípios da QV.

Depois dessa primeira aproximação com os docentes sobre sua formação, perguntou-se sobre a incorporação dos princípios da QV no currículo e sua pertinência. As respostas dos docentes mostraram com contundência a relevância dessa temática, não obstante expressaram certo pessimismo em relação à incorporação no currículo vigente. De acordo com o Entrevistado A:

A incorporação na prática ainda é muito longe, apesar de ser totalmente pertinente [...] acho que por uma questão cultural, por falta de políticas públicas efetivas, por falta de uma legislação mais rígida relacionada à implementação desses princípios, na prática ainda está muito longe de acontecer (ENTREVISTADO A).

Esta fala reflete o que Mestres (2010) explica sobre a necessidade de os Princípios da QV responderem à obrigação ética de contribuir ao desenvolvimento e bem-estar de todos os cidadãos do mundo, sem prejudicar a natureza nem as futuras gerações. E, claro, começar pela inclusão desses princípios na educação básica e na educação superior representa o passo mais significativo na direção de uma educação para o desenvolvimento sustentável. Sobre este aspecto, destacamos os seguintes trechos das entrevistas:

É muito pertinente [a inclusão da QV no currículo], porque existe uma ampla discussão sobre essas questões. Elas ficam atualmente muito para o professor: o professor trabalha ou não trabalha. Se a gente já encontrar aspectos dentro do currículo, já norteia a fazer essas discussões; é mais fácil elas estarem presentes, porque se elas não estão previstas no currículo, geralmente se trabalha o que já está no currículo; trabalha também aspectos fora, mas a gente deve conhecer os currículos, conhecer as ementas. Se esse material já está disponível, posto nas ementas, no currículo em si, aí é mais fácil, é um norte. É mais fácil pra trabalhar efetivamente essas atividades (ENTREVISTADO B).

Acho que sim. Estamos passando aí por diversos problemas ambientais e inserindo esse conteúdo, os princípios da Química Verde no currículo, é fundamental, tanto que o aluno, além de absorver conhecimentos técnicos de Química, também saiba lidar com essa parte ambiental. Saber como lidar com tratamentos de resíduos vai contribuir de forma grandiosa para a preservação do nosso meio ambiente (ENTREVISTADO C).

É importante ressaltar que todos os docentes revelaram que nas ementas do Curso de Licenciatura em Química não há, em nenhuma das disciplinas específicas da Química, o conteúdo de QV. De acordo com o Entrevistado A, o Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Química trata basicamente de ementas tradicionais desatualizadas, com uma lista de conteúdos básicos que devem ser ministrados aos discentes, sem uma bibliografia básica ou complementar que trabalhe a QV.

Os demais docentes entrevistados contam como procedem para incorporar em sua prática diária os princípios da QV, “fugindo” do que determinam os planos de curso das disciplinas do Projeto Pedagógico do Curso (PPC). Como exemplo disso, destacam-se os depoimentos dos seguintes docentes sobre como incluem em seu trabalho docente os princípios da QV:

[...] Nas minhas disciplinas nos últimos três anos, a gente tem buscado incluir no desenvolvimento da disciplina a pedagogia de projetos, onde o aluno, além de receber o assunto teórico, é instigado a desenvolver determinados projetos que auxiliam uma temática prática, alguma demanda da sociedade, como, por exemplo, disciplinas de metodologias de ensino; a gente já abordou a análise de água, como um fator preponderante para atrelar conhecimento ensinado em sala a uma demanda social [...] Tecnologias, como, por exemplo, a de produção de biogás, a gente sempre tem abordado, é um assunto que eu tento vincular muito, é uma disciplina que eu já ministrei e atualmente ministro, em que os alunos também são instigados a buscar os recursos naturais disponíveis totalmente para produzir a sua própria energia, pra ter uma economia na questão energética sem exigir muito do meio ambiente, como, por exemplo, não desmatando, a chegar um momento de utilizar o biogás como

fonte de energia. Dessa forma, a gente já estava abordando a Química Verde de forma indireta [...] (ENTREVISTADO A).

Desenvolvo pesquisas que envolvem o uso de biocatalizadores. A gente utiliza plantas ou outros materiais orgânicos que possam ser utilizados como reagentes Químicos. Com isso, as enzimas desses compostos substituem reagentes, um catalisador, por exemplo. Então isso diminui o uso desses reagentes, a gente tem outras possibilidades de reação. [...] eu fiz um mestrado, um doutorado e pesquisas também utilizando a biocatálise [...]. Então acredito que isso daí vá bem de encontro à Química Verde, porque a gente tenta substituir esses reagentes que podem ser tóxicos por outros menos tóxicos, são biodegradáveis, são plantas, que podem ser descartáveis e geram menos problemas ao meio ambiente (ENTREVISTADO B).

[...] Na disciplina que eu leciono [Química Analítica Descritiva], a gente não tem um tópico especificamente ligado à Química Verde. Porém, nas nossas práticas de laboratório, a gente insere, sim, os princípios da Química Verde como, por exemplo, o tratamento de resíduos. A gente realiza uma série de práticas de marchas analíticas e aí, sempre que a gente realiza essas práticas, mostra como é feito o armazenamento, o descarte dos resíduos, sólidos e líquidos das substâncias Químicas que se utiliza na prática [...] Aqui no IFRN, no curso de Biocombustíveis, eu lecionei também a disciplina de Biodiesel e tentei inserir alguns princípios da Química Verde para os alunos; eles partiram de materiais que teoricamente iriam ser descartados, como é o caso, por exemplo, de óleo residual. Então, alguns trabalhos que nós fizemos aqui foram justamente pra isso daí: o uso de óleo residual para a produção de biodiesel [...] Então... alguns princípios a gente tenta, na medida do possível, inserir no currículo (ENTREVISTADO C).

É notório o conhecimento e domínio dos docentes sobre muitos dos princípios da QV, já que, além de conhecê-los, executam projetos e atividades práticas que vão na direção de materializar o Princípio 1 da QV: “Evitar a formação de resíduos para não tratá-lo, eliminando assim a possibilidade de poluição futura”; Princípio 02 sobre a Economia de átomos: “Em

uma reação ideal, as massas dos reagentes serão convertidas em produtos, sem sobra, logo diminuindo a formação de resíduos”; Princípio 03 que versa sobre a síntese de produtos menos perigosos; Princípio 05 sobre o uso de solventes e auxiliares mais seguros; Princípio 08 sobre evitar a formação de derivados; e o Princípio 09 que versa sobre a catálise e biocatálise.

As últimas questões abordadas nas entrevistas foram úteis na realização de uma análise SWOT ou FOFA³, para conhecer, essencialmente, as dificuldades (fraquezas e ameaças) e possibilidades da incorporação dos princípios da QV no currículo e nas práticas curriculares da Licenciatura em Química do IFRN, Campus Apodi. Para tanto, antes de saber dos docentes sobre as possibilidades ou alternativas para tal inclusão no currículo desses princípios, perguntamos sobre as dificuldades encontradas, na prática, para se trabalhar os princípios da QV em suas disciplinas. As respostas que representam a amostra foram:

A principal dificuldade é a rigidez do currículo que a academia brasileira ainda tem. Então, o professor tem que seguir uma determinada ementa, que está disponível em cada disciplina, em cada curso e que está atrelada ao PPP do curso, ou seja, ele não pode fugir muito daquilo que está colocado ali. Isso não significa dizer que ele não possa contextualizar, mas como já discuti na questão anterior, pra que a gente tenha isso de uma forma mais efetiva, é necessário ter uma política pública eficiente que promova, como, por exemplo, um programa de apoio à iniciação científica nessa área, direcionado pra essa área, programas de apoio à iniciação tecnológica, proporcionando bolsas para alunos nessa área específica para que a gente possa começar a ter de fato uma importância da relevância do tema da Química Verde. Então, sublinho mesmo a falta de apoio Institucional de maneira direta, com palestras, com discursos [...]. Se a boa vontade não vier atrelada a recursos financeiros pra proporcionar a divulgação disso nas comunidades, pra proporcionar o desenvolvimento de projetos práticos para que as pessoas, tanto na academia como na

³ Análise **SWOT** ou Análise **FOFA** (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças) é uma ferramenta utilizada para fazer análise de cenário (ou análise de ambiente), sendo usada como base para gestão e planejamento estratégico, mas podendo, devido a sua simplicidade, ser utilizada para qualquer tipo de análise de cenário, inclusive nos educacionais.

comunidade, vivenciem a importância/benefício de se aplicar a Química Verde, acaba sendo um trabalho de enxugar gelo. A gente conscientiza um pouco aqui, outro acolá, mas você não tem de fato uma política aplicada da maneira global que era pra ser; ou seja, a academia levando o conhecimento pra comunidade e essa comunidade se beneficiando desse conhecimento e disseminando a tecnologia ou as tecnologias incluídas nesses princípios da Química Verde (ENTREVISTADO A).

É possível constatar nesse depoimento a necessidade urgente de implementação de políticas públicas direcionadas à promoção de projetos e práticas educacionais para difundir os princípios da QV em práticas socioambientais. Apresenta tal necessidade como algo que deve ser pensado a nível macro até chegar ao nível micro. No caso do IFRN, seria necessário incluir tais ações no Projeto Político-Pedagógico da instituição e no Projeto Pedagógico de Curso para, assim, chegar a ter efetividade nas práticas de cada campus.

Outro docente se refere a problemas estruturais que podem prejudicar na execução de princípios que requerem uma estrutura propícia. Expressa que:

“[...] o Princípio 01 (um), que é de prevenção, diz assim: ‘Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo [...]’, mas como é que a gente vai pra fazer uma aula prática se a gente não estiver usando aquele material?” (ENTREVISTADO C).

O docente entrevistado toca na “ferida” de muitas instituições educativas, no que concerne às condições estruturais para se realizar práticas adequadas em laboratórios de Química, Física e Biologia. Além disso, considera que:

[...] já que a gente está trabalhando com o curso de Química, é inevitável a gente não produzir resíduos, mas, se a gente tivesse estrutura pra tratar aquele resíduo, já seria menos impacto para o meio ambiente. O problema que eu vejo aí é a falta de estrutura, de equipamentos pra fazer o tratamento correto, como “manda o figurino” (ENTREVISTADO C).

Depois de conhecer as dificuldades, passamos para as alternativas que cada docente considera importante em relação ao trabalho

interdisciplinar dos Princípios da QV no currículo vigente. Os depoimentos revelaram que:

Olha, no currículo vigente a única alternativa é, de fato, professores, docentes, técnicos administrativos e alunos se sensibilizarem através de projetos submetidos a órgãos de fomento que possam estar articulando o desenvolvimento dessas pesquisas, que tratam dessa temática da Química Verde [...]. Então, assim, se quer realmente praticar essa política e incentivar, é necessário que eles tenham o apoio institucional para isso. É algo que sempre venho discutindo nas reuniões de grupo: que o professor que desenvolve pesquisa, que desenvolve extensão, seja na área de Química Verde ou não, ele tem a mesma carga horária em sala de aula do que um professor que não desenvolve nenhuma dessas atividades. Então, é preciso que a instituição comece a mudar essa visão [...] então, assim: o apoio institucional é importante; a flexibilidade do currículo também ela tem que ser necessária. O professor tem, sim, que seguir os conteúdos centrais da ementa, mas é interessante que aquela ementa permita que o professor possa flexibilizar a ponto de atender essas demandas contextualizadas que a sociedade impõe, e a Química Verde está inserida nessas demandas, afinal de contas os recursos naturais são finitos e precisamos aperfeiçoar toda essa parte de reaproveitamento, redução da geração de resíduos, enfim, uma série de políticas públicas que precisam ser implementadas (ENTREVISTADO A).

Em relação à interdisciplinaridade, trabalhar com a Química Verde é interessante porque você consegue trazer outros aspectos de outras disciplinas que mostrem um mundo de uma forma mais completa, em vez de fazer uma observação só na visão Química. Então, trabalhar com a Química Verde na verdade é uma ferramenta que pode ser utilizada na via interdisciplinar, já que o observar uma coisa, se discute várias áreas, pode-se ir nesse viés. Além disso, como a Química Verde envolve questões mais cotidianas, a contextualização é necessária nesse trabalho (ENTREVISTADO B).

A gente precisa ver que as diversas áreas da Química, desde a Química orgânica, Inorgânica,

Físico-química e Química Analítica de alguma forma pode incorporar esses princípios, tendo em vista que eles são fundamentais para o currículo dos alunos e também para o meio ambiente. Então, o que a gente precisa é a equipe sentar e realmente ver o que a gente pode inserir, do ponto de vista de cada uma das áreas, da Analítica à Orgânica. De uma forma ou de outra, dá pra sentar e ver o que pode ser trabalhado na sua disciplina; alguns desses princípios da Química Verde, não vou dizer todos, por exemplo, com a Química Analítica, dá pra gente ver todos os princípios da Química Verde? Não sei. Então, quando você junta toda a equipe, cada um pode ajudar de tal forma para que esses princípios sejam inseridos no currículo dos nossos alunos. Esse tema da Química Verde é muito novo e ele surgiu devido a essa problemática ambiental que a gente vem passando ao longo dos anos, e a gente precisa realmente inseri-la na formação docente e no currículo dos cursos de licenciatura (ENTREVISTADO C).

Bem, eu acho que as alternativas são importantes [...] eu até sugeri que esse tema fosse trabalhado em forma de palestra, em forma de seminário, com os outros alunos do curso de licenciatura, para já ajudar na difusão desses princípios da Química Verde, porque todos falam que a Química Verde é muito bonita, mas não sabem na verdade a questão dos princípios. Então, uma das alternativas que eu considero é vocês estarem repassando em forma de seminário ou de palestras nos nossos eventos institucionais esses conhecimentos de Química Verde do projeto de vocês para a comunidade da nossa licenciatura. E na próxima revisão do PPC do curso, trabalhar mais essa temática, tentar abordar mais essa temática nas ementas das disciplinas, mesmo nas disciplinas teóricas, (ENTREVISTADO E).

Podemos comprovar que todos se referiram à possibilidade de reformulação do Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Química para a incorporação dos Princípios da QV no currículo e nas práticas curriculares. Diante de tal necessidade, há inúmeras possibilidades para o trabalho de temáticas que envolvam a sustentabilidade na Química como também nas demais ciências. Com fomento ou

não, ações como palestras, projetos de extensão e divulgação nos meios sociais e redes institucionais se configuram como alternativas viáveis nesse caminho.

Com relação aos resultados esperados em longo prazo, a significação científica do trabalho realizado será ainda maior. Espera-se que a experiência exitosa do projeto executado sirva como referência para a aplicação em outros contextos educacionais e que os resultados do estudo sobre a adequação pedagógica dos princípios da QV no currículo da Licenciatura em Química sirvam de “lentes” teóricas e metodológicas para se pensar o ensino de química na construção de um futuro sustentável. A nossa perspectiva de estudos futuros sobre a temática caminha na direção de contribuir com a Ambientalização curricular no campo das Ciências da Natureza (VILCHES; GIL PÉREZ, 2013).

5 Considerações finais

No âmbito do nosso *locus* de pesquisa, o Projeto Político-Pedagógico do IFRN estabelece a transversalidade como via de articulação da formação integral, fundamentada no conjunto de experiências direcionadas à formação de valores, conhecimentos, habilidades e atitudes de caráter social, econômico e ambiental. Contemplar a aplicabilidade da transversalidade nos documentos curriculares e nas práticas pedagógicas continua, entretanto, sendo uma grande utopia.

O que realmente se observa é que há uma inadequação e distanciamento cada vez mais profundo entre os saberes separados e compartimentados de matérias escolares e as realidades cada vez mais polidisciplinares, multidimensionais, transnacionais, globais e planetárias, como expressou o sociólogo Edgar Morin (2003; 2004).

Dessa maneira, a inclusão dos princípios da Química Verde no currículo e nas práticas curriculares da Licenciatura em Química se configura como um grande desafio na construção de um futuro sustentável, já que está em jogo a responsabilidade de contribuir, por meio do ensino de Química, para um desenvolvimento sustentável destacado por espaços econômicos, sociais e meio ambientais mais prósperos.

Em suma, ao defender uma ciência capaz de integrar e trabalhar em sala de aula saberes e conhecimentos aparentemente tão distantes como, por exemplo, a economia, o estudo da biodiversidade e da eficiência energética, aquecimento global e mudanças climáticas, a proposta de trabalho apresentada neste artigo se configura como audaciosa, justamente

por caminhar na direção de uma ciência para a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

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

ANGROSINO, M. **Etnografía y observación participante en investigación cualitativa**. Madrid: Morata, 2012.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2009.

BRUNDTLAND, G. H. **Nuestro futuro común**. Madrid: Editorial Alianza, 1989.

CALVO-FLORES, F. G.; DOBADO, J. A. Química Sostenible: una alternativa creíble. **Anales de la Real Sociedad Española de Química**, n. 3, p. 205-210, 2008. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2714924>. Acesso em: 13 jan. 2018.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. **Manual de investigación cualitativa**. Barcelona: Gedisa, 2012.

IFRN. Projeto Político-Pedagógico do IFRN: uma construção coletiva. Aprovado pela Resolução Nº 38/2012-CONSUP/IFRN, de 26/03/2012. Disponível em: <http://portal.ifrn.edu.br/ifrn/institucional/projeto-politico-pedagogico-1/lateral/menu-1/volume-1-documento-base>. Acesso em: 13 jan. 2008.

LENARDÃO, E. J. *et al.* "Green Chemistry"- Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 123-129, jan./fev. 2003. DOI 10.1590/S0100-40422003000100020.

MACHADO, A. A. S. C. Da gênese ao ensino da química verde. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 535-543, 2011. DOI 10.1590/S0100-40422011000300029.

MESTRES, R. **Química Sostenible**. Madrid: Editorial Síntesis, 2010.

MESTRES, R. Química Sostenible: Naturaleza, fines y ámbito. **Educación Química**, México, v. 24, 2013. DOI: 10.1016/S0187-893X(13)72503-5.

MORIN, E. **A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

MORIN, E.; CIURANA, R.; MOTTA, R. D. **Educar na era planetária**. O pensamento complexo como Método de aprendizagem no erro e na incerteza humana. Rio de Janeiro: Cortez Editora, 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 28 nov. 2017.

UNESCO. **Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (2005-2014)**. Brasília: Unesco, 2002.

VILCHES, A.; GIL PÉREZ, D. Ciencia de la Sostenibilidad: Un nuevo campo de conocimientos al que la Química y la Educación Química están contribuyendo. **Educación Química**, v. 24, n. 2, p. 199-206, 2013.