

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO**

ROSIVÂNIA DA SILVA ANDRADE

**A PRÁTICA EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA CRÍTICA VERDE NA
LICENCIATURA EM QUÍMICA DE UMA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
ESTADO DE SÃO PAULO: UM ESTUDO DE CASO**

**SÃO CARLOS - SP
2022**

ROSIVÂNIA DA SILVA ANDRADE

**A PRÁTICA EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA CRÍTICA VERDE NA
LICENCIATURA EM QUÍMICA DE UMA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
ESTADO DE SÃO PAULO: UM ESTUDO DE CASO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de doutora em Educação.

Orientadora: Profa. Dra. Dra. Vânia Gomes Zuin Zeidler

**SÃO CARLOS - SP
2022**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Educação e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Educação

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Rosivânia da Silva Andrade, realizada em 21/01/2022.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Vânia Gomes Zuin Zeidler (UFSCar)

Profa. Dra. Renata Colombo (USP)

Prof. Dr. Renato Crioni (-)

Profa. Dra. Karina Omuro Lupetti (UFSCar)

Prof. Dr. Michel Pisa Carnio (UFSCar)

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

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar aqui meus agradecimentos pelas pessoas que fizeram parte da trajetória que levou à realização deste trabalho, sem elas, não teria sido possível chegar até aqui.

Aos meus pais, por todo apoio e incentivo aos estudos, desde pequenina. Sem vocês nunca teria sido possível sonhar.

Às minhas irmãs e minha avó Gilda, por sempre me acolher com os sorrisos que me alegram a vida.

Ao Henrique, meu amor e companheiro de todas as horas, por todo carinho e ajuda cotidiana, nessa trajetória do doutorado e na vida.

À minha orientadora, Professora Vânia, gostaria de deixar um agradecimento muito especial, pela orientação cuidadosa e confiança em mim para o desenvolvimento deste estudo. Você sempre será uma referência na minha vida profissional.

Aos licenciandos, participantes da pesquisa, pelo compromisso e compartilhamento de experiências durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos estudantes, professores e profissionais da ETEC Paulino Botelho e do Centro de Divulgação Científica e Cultural – CDCC/USP, pelo acolhimento e participação neste trabalho.

Aos colegas do Grupo de Estudo e Pesquisa de Química Verde, Sustentabilidade e Educação, pelos momentos ímpares de discussões que colaboraram para a construção deste trabalho.

Aos professores da banca da qualificação que trouxeram contribuições fundamentais para este trabalho.

Aos amigos inesquecíveis que fiz em São Carlos, em especial, a Flávia, o Taynan e o Henrique, a Mari, o Aylon, o Domingos, o Rapha, o Matheus e a Stela, a Evelyn e o Ben, o João, a Natália, o Gui, a Karina e a Carol.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de São Carlos, pelo acolhimento e compromisso com uma educação pública superior de qualidade.

À CAPES, pelo auxílio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa buscou compreender a ressignificação da formação crítica na Educação Química pelas práticas experimentais investigativas verdes. Para tanto, a pesquisa foi estruturada segundo uma abordagem qualitativa apoiada no método do estudo de caso de um curso de Licenciatura em Química, de uma Instituição de Ensino Superior (IES) Federal do Estado de São Paulo. Como primeira etapa da pesquisa, foram propostos critérios definidos como “Dimensões Formativas para a Educação em Química Verde e Sustentável”, essas que pretendem se apresentar como uma ferramenta de avaliação qualitativa dos processos experimentais e seus subsídios educacionais. A segunda etapa possibilitou uma reflexão acerca da compreensão dos estudantes sobre as práticas experimentais. Na terceira etapa ocorreu a elaboração das propostas experimentais pelos estudantes, as quais caminharam de forma a contemplar níveis formativos com objetivo de se adequar a uma atuação mais responsável, com relação não apenas ao uso de reagentes e processos empregados, mas também, frente aos aspectos sociais e ambientais implicados nos experimentos. Por fim, a vivência das práticas experimentais possibilitou o desenho de uma proposta de “Abordagem Experimental Formativa”, que tem o objetivo de tornar a prática laboratorial um contributo para formação crítica de professores de Química. Portanto, analisar os processos formativos discentes possibilitou observar como os licenciandos pensam o trabalho experimental. Contribuindo assim na melhoria de dois aspectos da Educação Química: para a superação das visões simplistas que comprometem a compreensão sobre o papel da Experimentação e para a construção de caminhos teóricos e metodológicos que viabilizem uma formação mais crítica para o Desenvolvimento Sustentável.

Palavras-Chave: Educação Química. Experiência Formativa. Química Verde. Laboratório de Ensino. Educação para o Desenvolvimento Sustentável. Métrica Qualitativa.

ABSTRACT

This research sought to understand the redefinition of critical formation in Chemical Education through green investigative experimental practices. Therefore, the research was qualitative approach supported by the case study method of an undergraduate course in Chemistry at Federal Higher Education Institution (IES) located in São Paulo State. As a first step of the research, the criteria defined as “Formative Dimensions for Education in Green and Sustainable Chemistry” were proposed, which intended to present themselves as a qualitative assessment tool of experimental processes and their educational subsidies. The second stage allowed a reflection on the students' understanding of experimental practices. The third point involved the preparation of experimental proposals by the students, which walked to contemplate formative levels to adapt to a more responsible performance, with regard not only to the use of reagents and processes used, but also to the social aspects and environmental issues involved in the experiments. For the last part, the application of experimental practices enabled the design of a proposal for an “Experimental Formative Approach”, which aims to make laboratory practice a contribution to the critical formation of Chemistry teachers. In summary, analyzing the students' formative processes made it possible to observe how students think about experimental work. Finally, the research contributed to the improvement of two aspects of Chemical Education: to overcome simplistic points of view that compromise the understanding of the role of Experimentation and to build theoretical and methodological paths that enable a more critical formation for Sustainable Development.

Keywords: Chemistry Education. Formative experiences. Green Chemistry. Teaching laboratory. Education for Sustainable Development. Qualitative Metric.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões Formativas para a Educação Química Verde e Sustentável de maior nível formativo possível	104
Figura 2 - Dimensões Formativas – EQVS do experimento “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?”	110
Figura 3 - Dimensões Formativas – EQVS do experimento “Síntese de bioplástico”	115
Figura 4 - Distribuição dos níveis formativos das propostas experimentais por grupo	118
Figura 5 - WebQuest “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?” elaborado pelo Grupo G03	121
Figura 6 - Estudo de caso síntese de óxido desenvolvido pelo Grupo G1	124
Figura 7 - Estudo de caso síntese de óxido desenvolvido pelo Grupo G9	125
Figura 8 - Problematização da proposta experimental do Grupo G11	128
Figura 9 - Pergunta realizada aos estudantes durante a aplicação do Quiz na plataforma Kahoot!	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Os 12 Princípios da Química Verde	28
Quadro 2 - Princípios Orientadores da Química Sustentável	31
Quadro 3 - Nível de investigação para uma atividade experimental	68
Quadro 4 - Níveis para natureza do problema em uma atividade experimental	72
Quadro 5 - Níveis de alfabetização científica para o trabalho experimental	76
Quadro 6 - Abordagens de avaliação da aprendizagem em práticas experimentais	80
Quadro 7 - Modelo de aprendizagem para a ESD em práticas experimentais	84
Quadro 8 - Tipos de Design para o trabalho experimental	88
Quadro 9 - Riscos de substâncias que podem ser envolvidas em uma prática experimental	91
Quadro 10 - Degradabilidade e renovabilidade para substâncias que podem ser envolvidas em uma prática experimental	92
Quadro 11 - Níveis dos tipos de reagentes e produtos em experimentos didáticos	92
Quadro 12 - Níveis de geração de resíduos em práticas experimentais didáticas	98
Quadro 13 - Temas e experimentos por grupos	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Abordagens de instruções em laboratórios didáticos	45
Tabela 2 - Produtos químicos que são mais perigosos que educacionais	93
Tabela 3 - Equivalentes comerciais de produtos químicos de laboratório	94
Tabela 4 - Dimensões da Experimentação Formativa para a Educação Química Verde e Sustentável	101
Tabela 5 - Matriz de similaridade	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação da distribuição das publicações em Educação em Química Verde (EQV) e Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS) por ano	33
Gráfico 2 - Distribuição das publicações em EQVS por país	35
Gráfico 3 - Distribuição das publicações em EQVS por subárea	36
Gráfico 4 - Distribuição das publicações em EQVS por categoria	38
Gráfico 5 - Distribuição das publicações em Experimentação na Educação em Química Verde e Sustentável por ano	50
Gráfico 6 - Distribuição das publicações em Experimentação na Educação em Química Verde e Sustentável por subárea	51
Gráfico 7 - Abordagens Experimentais e Modelos de Educação em Química Verde e Sustentável a partir das em Experimentação na Educação em Química Verde e Sustentável	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ESD	Educação para o Desenvolvimento Sustentável
QV	Química Verde
QS	Química Sustentável
QVS	Química Verde e Sustentável
OSD	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
EQVS	Educação em Química Verde e Sustentável
EQV	Educação em Química Verde
QSC	Questões Sociocientíficas
ABP	Aprendizagem Baseada em Problema
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 A FORMAÇÃO CRÍTICA NA EDUCAÇÃO QUÍMICA: da trajetória conceitual às implicações educacionais	16
2.1 O PERCURSO HISTÓRICO DO CONCEITO	16
2.2 DA SEMIFORMAÇÃO À FORMAÇÃO CRÍTICA: UMA URGÊNCIA PARA O PROCESSO EDUCATIVO EM QUÍMICA	19
2.3 PERSPECTIVAS DA EXPERIMENTAÇÃO ORIENTADA PARA FORMAÇÃO CRÍTICA	22
3 QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL: do estabelecimento dos princípios às necessidades educacionais	24
3.1 QUÍMICA VERDE	25
3.2 QUÍMICA SUSTENTÁVEL	29
3.3 A QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL NA EDUCAÇÃO QUÍMICA	33
3.4 CONSIDERAÇÕES	41
4 A EXPERIMENTAÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA: pontos e contrapontos para uma abordagem experimental formativa, verde e sustentável no Ensino Superior	43
4.1 AS DIFERENTES ABORDAGENS EXPERIMENTAIS NA EDUCAÇÃO QUÍMICA	43
4.1.1 Abordagem expositiva	45
4.1.2 Abordagem baseada em problemas	46
4.1.3 Abordagem de investigação	48
4.2 EXPERIMENTAÇÃO NA EDUCAÇÃO EM QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL: Transitando entre o slogan e a incorporação nos laboratórios de ensino superior	50
4.3 CONSIDERAÇÕES	57
5 DELINEAMENTO METODOLÓGICO	58
5.1 ESTUDO DE CASO	58
5.2 SUJEITOS E O CAMPO DE PESQUISA	59
5.3 COLETA DE DADOS	62
5.4 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA	62
5.5 ANÁLISE DOS DADOS	64
6 DIMENSÕES DA EXPERIMENTAÇÃO FORMATIVA PARA A EDUCAÇÃO QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL	66
6.1 ABORDAGEM DO EXPERIMENTO	68
6.2 NATUREZA DO PROBLEMA	72
6.3 ALFABETIZAÇÃO E LITERACIA CIENTÍFICAS	75
6.4 AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM	78
6.5 MODELOS DE APRENDIZAGEM EDS	82

6.6 <i>DESIGN</i> DO EXPERIMENTO	86
6.7 REAGENTES E PRODUTOS	90
6.8 GERAÇÃO DE RESÍDUOS	95
6.9 MÉTRICA	101
6.10 AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS EXPERIMENTAIS A PARTIR DAS DIMENSÕES FORMATIVAS – EQVS	104
7 ANALISANDO A CONSTRUÇÃO DA FORMAÇÃO CRÍTICA EM PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NA LICENCIATURA EM QUÍMICA	116
8 A EXPERIMENTAÇÃO FORMATIVA PARA A EDUCAÇÃO QUÍMICA	142
8.1 FASE ZERO: APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA EXPERIMENTAL	144
8.2 PRIMEIRA FASE: EXPLORAÇÃO DAS IDEIAS E INSERÇÃO DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS	144
8.4 TERCEIRA FASE: EXPERIMENTAÇÃO	146
8.5 QUARTA FASE: CONSTRUINDO EXPERIÊNCIAS FORMATIVAS	147
8.6 CONSIDERAÇÕES	148
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
REFERÊNCIAS	152
APÊNDICE	168
ANEXOS	179

1 INTRODUÇÃO

A experimentação desenvolvida nos laboratórios de ensino tem papel fundamental para a construção do conhecimento científico e suas implicações ambientais. No entanto, em geral, as práticas experimentais desenvolvidas têm se estabelecido como transitórias e pontuais, além de apresentarem poucos conceitos sobre a prevenção da geração de subprodutos indesejáveis e tóxicos ao ambiente (PRADO, 2003; ZUIN; ZUIN, 2017).

Esse cenário também tem causado aumento significativo de problemas ambientais, uma vez que, as práticas desenvolvidas no processo de formação estão, estreitamente, ligadas à atividade profissional (RIBEIRO *et al*, 2010). Nesse sentido, Jacobi (2007) propõe que o caminho para uma sociedade sustentável se estabelece à medida que se desenvolvem práticas pedagógicas orientadas por uma atitude reflexiva em torno da problemática ambiental.

O interesse em desenvolver materiais e métodos considerados, ambientalmente mais corretos, como forma de superar os problemas ambientais ocasionados pelas práticas laboratoriais da química dita como tradicional, faz emergir discussões acerca da Química Verde (ANASTAS; WARNER, 1998) e da Química Sustentável (OCDE, 2019) as quais têm, em comum, projeto, fabricação e uso benignos de produtos e serviços químicos eficientes, efetivos, seguros e inofensivos às pessoas e ao ambiente.

A implementação da Química Verde e Sustentável, nos currículos universitários, está crescendo, expressivamente, sendo marcada pelas significativas contribuições para a inserção do conceito de sustentabilidade no campo da Química e no crescente interesse em recursos educacionais que possibilite práticas em laboratório de ensino mais sustentáveis (PRADO, 2003; ZUIN; PACCA, 2009; SJÖSTRÖM; EILKS; ZUIN, 2016).

Para que ocorra a inserção e desenvolvimento da Química Verde e Sustentável, é necessário que as práticas experimentais oportunizem a tomada de decisão, consciente, sobre problemas socioambientais em um viés reflexivo. Essa necessidade também é apresentada por Adorno (2010), quando afirma que a produção da ciência deve possibilitar a tomada de consciência sobre seus benefícios e consequências.

Nessa perspectiva, a problematização pode ser indicada como propulsora para construção e desenvolvimento das atividades nos laboratórios de ensino. Assim, tomamos as questões sociocientíficas como orientadoras do processo formativo do sujeito, pois, a problematização viabiliza um processo dialético de construção, análise, interpretação e reconstrução do conhecimento condicionado ao cumprimento de juízos de valores.

A Educação em Química, constituída por esses elementos, pressupõe um processo didático orientado para a formação crítica. No contexto contemporâneo, essa é compreendida como um “processo de desenvolvimento da consciência crítica e da formação de caráter, autodescoberta, conhecimento na forma de contemplação, um engajamento com questões de verdade, valor e significado” (VÁSQUEZ-LEVY, 2002, p. 118, 119). Para a Educação Química, esse conceito transpassa o conhecimento de conteúdo em química para o conhecimento sobre Química, contribuindo para a compreensão tanto sobre a natureza da Química, quanto sobre seu papel na sociedade (SJÖSTRÖM; FRERICHS; ZUIN; EILKS, 2017).

Os processos educacionais, nessa perspectiva, são entendidos como um processo reflexivo em que o indivíduo estabelece uma postura crítica em relação à cultura e à sociedade existente (BIESTA, 2012a; BIESTA, 2012b). Os indivíduos tornam-se sujeitos autônomos de ação e responsabilidade, o que lhes permite “captar uma concepção de subjetividade humana que não seja egoísta ou autocentrada, mas sempre entendida como estando em relação responsável com outros seres humanos e, por extensão, com o mundo natural em geral” (BIESTA, 2013, p 739).

Portanto, a formação crítica implica numa transformação do sujeito e exige tempo de reflexão e continuidade, em contraste com o imediatismo e a fragmentação de racionalidade formal (ZUIN, 2012). Uma prática experimental que se estrutura a partir de uma abordagem investigativa e pelos pressupostos da Química Verde e Sustentável, pressupõe o rompimento dessa reprodução irrefletida do conhecimento, possibilitando aos estudantes a ressignificação, ou construção, de novos conhecimentos químicos que deem preferência a utilização de reagentes de fontes renováveis e de fácil degradação, evitando a geração e uso de materiais perigosos e ressignificando a prevenção e minimização da geração de resíduos.

Esse contexto, de transformação do pensamento e ações sócio-historicamente situadas, tendo como lócus o laboratório de química, possibilita ao sujeito o desenvolvimento de experiências formativas (ZUIN; ZUIN, 2017). Theodor Adorno e Walter Benjamin ao apresentarem os seus fundamentos acerca do conceito de experiência e suas implicações para um processo formativo, destacam a necessidade de que o conhecimento se estabeleça em sua construção histórica (continuidade) e buscando as causas dessa construção (temporalidade). Portanto, para que se possa construir experiências formativas, em práticas laboratoriais, é necessário que a realização das etapas de um trabalho experimental seja fundamentada na realidade, em pressupostos epistemológicos de uma teoria e que seja produto das determinações socioculturais (ZUIN; ZUIN, 2017; ZUIN et al., 2019).

Tendo em vista a inquietação de conhecer, refletir e contribuir no desenvolvimento da experimentação, em processos de ensino e aprendizagem em Química, houve o acompanhamento¹ das disciplinas de “Experimentação para Educação Química” e “Química verde”, através de uma abordagem qualitativa de estudo de caso, com estudantes do Curso de Licenciatura em Química de uma IES Federal Paulista.

Dentre as várias possibilidades de investigação, proporcionadas pelo contexto, delimitamos a questão de pesquisa como: “De que maneira as práticas experimentais, estruturadas a partir de uma abordagem investigativa e orientadas pela Química Verde e Sustentável, possibilitam o estabelecimento de uma formação crítica no desenvolvimento da prática laboratorial?”

Diante dessa questão, a pesquisa tem como objetivo geral investigar o estabelecimento de práticas experimentais para a construção da formação crítica com estudantes do curso de Licenciatura em Química de uma IES Federal Paulista. Para o alcance desse objetivo pretendemos:

- Identificar as relações teóricas entre as abordagens experimentais e a Química Verde e Sustentável, necessárias à elaboração de experiências formativas na prática laboratorial;

¹ O acompanhamento das disciplinas ocorreu no formato de ensino presencial durante o 2º semestre de 2018 e o 1º semestre de 2019.

- Analisar como um grupo de licenciandos de Química compreendem, constroem e aplicam práticas experimentais orientadas pela abordagem experimental de investigação e pelos pressupostos da Química Verde e Sustentável;
- Interpretar os elementos emergentes da vivência direta, com as condições e variáveis das práticas experimentais, para a Educação Química.

Portanto, consideramos que o trabalho experimental, nos laboratórios de ensino, precisa ser investigado como forma de sinalizar modos mais efetivos para a construção do conhecimento profissional e da consciência das consequências dessa construção, de forma a levar os estudantes a construírem experiências em um processo formativo e coerente com as necessidades para esse século, pois, é através da educação que a ciência pode obter resultados favoráveis quanto às atitudes na preservação do meio ambiente.

2 A FORMAÇÃO CRÍTICA NA EDUCAÇÃO QUÍMICA: da trajetória conceitual às implicações educacionais

O conceito educacional da formação crítica vem sendo reconhecido em discussões atuais sobre questões educacionais e, com isso, tem influenciado ações teóricas e curriculares no desenvolvimento das ciências da educação em todo o mundo. Desse modo, entende-se que argumentar a favor da Educação Química crítica é algo necessário para desenvolver cidadãos autônomos e responsáveis.

O que tornou a formação crítica tão atraente para pensadores como Benjamin, Horkheimer e Adorno foi o fato desta não reduzir a compreensão da educação, no sentido de padronização ou socialização, mas fez com que se relacionassem com a expressão e elevação da interioridade do sujeito e com sua autonomia (GUR-ZE'EV, 2006; BIESTA, 2002). As dimensões educacionais e políticas desse conceito nos fazem pensar de maneira diferente sobre educação (BIESTA, 2002b).

Portanto, a Educação Química crítica promove a prática do conhecimento científico associada a valores humanos, em conexão com os eventos sociais, abordagens filosóficas e políticas mais adequadas aos tempos atuais.

Apresentaremos, nessa seção, uma reconstrução histórica e as múltiplas características do conceito de educação crítica a partir do conceito de *Bildung* e suas implicações na Educação Química.

2.1 O PERCURSO HISTÓRICO DO CONCEITO

A formação crítica é apresentada nesse estudo fundamentada no conceito de *Bildung*, que surgiu na Alemanha, em meados do século XVIII, como um termo para “transcender a natural existência e alcançar a verdadeira humanidade” (HORLACHER, 2016 p. 8). Esse conceito foi, inicialmente, usado para identificar as dimensões religiosas ou estéticas de desenvolvimento individual, mas tornou-se muito mais comumente utilizado em ambientes educacionais durante a segunda metade do século XVIII.

Esse viés educacional, nesse século, foi uma das respostas às várias questões levantadas pela religião, antropologia, ética e estética, pois condensava múltiplos significados e valores enraizados, em tradições díspares, que poderia enfrentar vários desafios em um mundo em mudança (BERMAN, 1984; HORLACHER, 2016).

Durante o século XIX, ela foi entendida, principalmente, como valor e mercadoria em favor da utilidade e das disciplinas filosófico-clássicas em prol das ciências naturais (SJÖSTRÖM, et al 2013). Já na primeira metade do século XX, os estudiosos da educação alemã usaram o conceito “para indicar uma orientação antimaterialista e um enobrecimento interno da alma” (HORLACHER, 2016, p. 5). Nesse século, a formação crítica tem o objetivo de realizar a meta da humanidade: o pleno desenvolvimento das forças de cada ser humano (GUR-ZE’EV, 2006).

Após a Segunda Guerra Mundial, essa visão foi desafiada pelas ideias da Teoria Crítica e houve a redefinição da formação crítica como emancipação. A Teoria Crítica enfatiza também a dimensão política e possuiu como importantes estudiosos: Max Horkheimer e Theodor Adorno (SJÖSTRÖM et al, 2017).

A concepção da formação crítica, fundamenta em *Bildung*, pressupõe uma característica essencial do sujeito humano: a autonomia. Essa prevê a autonomia potencial do sujeito ou, pelo menos, o potencial para uma luta pela realização de sua possível autonomia como essencial, para que o sujeito escape dos processos padronizadores (GUR-ZE’EV, 2006).

Alguns termos como a autodeterminação, a liberdade, a emancipação, a autonomia, a responsabilidade, a razão e a independência são sugeridas como noções cruciais, em relação aos entendimentos contemporâneos, os quais não devem ser entendidos de maneira estática ou objetiva, mas, como alicerces para autonomia e a cidadania responsável (KLAFKI, 2000; WILLBERGH, 2015; SJÖSTRÖM et al, 2017).

O sentido desse conceito, portanto, deve ser pensado a partir de um diagnóstico de nosso próprio tempo (BIESTA, 2003; KOSELLECK, 1990). Sob essa concepção, a formação crítica pode ser compreendida em duas faces centrais: continuidade e temporalidade, as quais devem se afirmar, mutuamente, no processo formativo. “A continuidade refere-se à importância de que os conteúdos culturais permaneçam presentes no decorrer desse processo” (PUCCI; ZUIN;

OLIVEIRA, 2012, p. 117), ainda que modificados. Desse modo, as novas situações devem ser colocadas em relação aos saberes existentes em um movimento de reflexão que transforma as relações em conteúdos significativos.

A continuidade, como eixo importante no processo de aprendizagem, exige do indivíduo o estabelecimento de relações entre conceitos das mais variadas áreas do conhecimento. Trata-se de colocar em prática uma leitura do que se sabe para construir o conhecimento presente a partir de uma imagem dialética e descontínua entre o presente e o passado (BENJAMIN, 1994a; 1991). Portanto, é a partir da continuidade que as novas situações são colocadas em relação aos estados existentes, permitindo a continuidade dos saberes pela racionalidade consciente do conhecimento, esse que é considerado válido.

Nesses termos, o processo de continuidade da consciência tem como par dialético a dimensão temporal. A ideia de tempo, tal como é entendido aqui, é qualitativo/social e rege múltiplas temporalidades. Essas, por sua vez, são próprias e intrínsecas a cada indivíduo e lhes permite definir sequências, durações e intensidades em relação ao conhecimento. (BENJAMIN, 2006).

A temporalidade “relaciona-se à necessidade de que sejam considerados os vínculos temporais entre os objetos de estudo” (PUCCI; ZUIN; OLIVEIRA, 2012, p. 117). Aqui, rompe-se com o tempo linear e mecânico, e abre-se a possibilidade de uma experiência, pois enquanto a relação do presente com o passado é puramente temporal e contínua, a relação entre os objetos de estudo é dialética (BENJAMIN, 2006).

Baseado nisso, ao considerarmos o conhecimento atual/presente, que temos sobre determinado fenômeno, só se configura deste modo, porque esse conhecimento não está vazio, mas porque ele se conecta aos conhecimentos do passado, resgatando-o e redefinindo-o. Para que esse processo ocorra, a memória entre os vínculos temporais precisa estar sempre presente, de forma consciente (BENJAMIN 1994a;1991).

Portanto, a consciência do presente que capta a relevância do passado na sua composição (temporalidade), em um processo de exercício e a associação do conhecimento (continuidade), se tornam elementos centrais. Em uma sociedade globalizada, a formação

crítica tem sido pensada para incentivar a democracia e dar condições aos cidadãos de levar vidas autodeterminadas e responsáveis (HORLACHER, 2016).

2.2 DA SEMIFORMAÇÃO À FORMAÇÃO CRÍTICA: UMA URGÊNCIA PARA O PROCESSO EDUCATIVO EM QUÍMICA

A reconstrução histórica apresentada, no tópico anterior, ilustrou como o conceito de formação crítica foi e ainda está sendo um slogan para o fortalecimento de vários interesses políticos, econômicos, educacionais, escusos à construção da autonomia e vida digna dos sujeitos.

Atualmente, o que ousa chamar-se de progresso da consciência converge com a perda da formação em uma forma dominante da consciência designada por Adorno (2010, p. 33) de *Halbbildung*, traduzida para o português como semiformação. Para esse, a semiformação é uma fraqueza em relação ao tempo e à memória, única mediação capaz de fazer na consciência a síntese da experiência que caracterizou a formação cultural em outros tempos.

A semiformação passou a ser a forma dominante da consciência atual (ADORNO, 2010), por meio de um processo formativo linear que dissocia, progressivamente, a consciência de suas relações humanas e de tudo que lhe for inerente. Essa descansa em si mesma, absolutiza-se e acaba por converter-se em semiformação.

Esse processo, como cultura educacional degenerada, pode ser identificado na Educação Química em atividades laboratoriais que tendem apenas a confirmar seus pressupostos teóricos, sem questionamentos, problematização, nem, tão pouco, reflexão sobre o conhecimento que está sendo estudado. Essas atividades estão engessadas na utilização de roteiros experimentais, os quais já estão prontos para serem acessados com os mais variados propósitos, como também dos relatórios dos experimentos. Esses, por sua vez, podem ser encontrados com todas as respostas e podem ser acessados a qualquer momento durante o próprio desenvolvimento do experimento para preencher o formulário a ser entregue ao final da aula (ZUIN; ZUIN, 2017).

A ampliação do fluxo de informação tem modificado as noções de temporalidade e de espacialidade viabilizando um tipo de formação fragmentada que atrofia a experiência e enfraquece a memória. A tarefa da educação não é adaptar o indivíduo ao mundo, treiná-lo com

conhecimentos e habilidades úteis, mas despertar as forças interiores, a criatividade e o juízo crítico para transformar o mundo e realizar, dentro de si, o ideal de humanidade (ALVES, 2019). Esse processo de autorreflexão crítica dirige-se para a exigência primeira de toda Educação: “que Auschwitz não se repita” (ADORNO, 1995, p. 119).

O entendido e experimentado medianamente, ou seja, o semientendido e semiexperimentado, não constituem o grau elementar da formação, pois penetram na consciência, sem se fundir em sua continuidade, se transformando, tendencialmente, em apropriações sem fundamento real. Portanto, a degeneração da consciência é produto de sua carência de reflexão crítica sobre si (ADORNO, 2010; PUCCI; ZUIN; OLIVEIRA, 2012).

O processo de semiformação pressupõe uma interposição imediata entre os sujeitos e a realidade, o que os impede de estruturar uma consciência crítica. Um grande setor da produção da indústria cultural incentiva a relação imediata enfraquecendo, ainda mais, o processo de formação da consciência crítica, uma vez que o todo é submetido a um reducionismo que Adorno, em suas discussões acerca da semiformação, apresenta como identificações baratas e vazias da totalidade (ADORNO; HORKHEIMER, 1985; ADORNO, 2010).

Na Educação Química, esse imediatismo pode ser identificado, em geral, nos “Shows da Química” onde são abordados experimentos perigosos com fim de diversão em si mesmo; ou em “aulões” de cursos pré-vestibulares, em que são utilizadas paródias, perguntas de múltiplas escolhas e jogos sem utilidades pedagógicas consistente. Essas atividades exigem do sujeito apenas a capacidade de observação e conhecimentos específicos, proibindo-o de atividade intelectual de alta ordem. Dessa forma, Adorno (1985, p. 105) afirma que “os produtos da indústria cultural podem ter a certeza de que até mesmo os distraídos vão consumi-los alertamente.”

Para Adorno (2010), esses casos enfatizam a mera ingenuidade e simples ignorância pelas quais o mercado cultural nutre-se e delas se reproduz e reforça-se. Além de serem exemplos de um estado informativo pontual, desconectado, intercambiável e efêmero de informações.

O reflexo está em uma experiência empobrecida, também denominada por Benjamin (1991), de vivência, a qual está presa nas amarras do presente e não o ultrapassa. A vivência

não faz uso da profundidade da memória e quando novas condições de vida exigem um alto grau de imediatismo na resposta aos choques, aos quais a percepção foi exposta, não só as possibilidades da experiência são anuladas, mas essa memória profunda é substituída pela memória do imediato, exato e memória verificável.

Outro colapso da formação, apresentado por Adorno, está na fratura entre o conceito e práxis instrumentalizada (ZUIN; ZUIN, 2017), ou seja, um indivíduo formado não pode ser reduzido, exclusivamente, ao conhecimento em si, mas ser capaz de perceber que os conceitos de ética e de responsabilidade estão intrinsecamente ligados a esse conhecimento. Desse modo, o indivíduo que conduz seu processo de aprendizagem sob os pressupostos de formação crítica, é capaz de exercer uma práxis, tanto em sua totalidade científica e ética, quanto na dimensão social e ambiental.

De acordo com Benjamin (1991), o conhecimento deriva da experiência – “a continuidade da consciência em que perdura o ainda não existente e em que o exercício e a associação fundamentam uma tradição no indivíduo” (ADORNO, 2010, p. 33) – a qual fornece substrato necessário para que o conhecimento seja aprofundado e permaneça, a partir de uma reflexão do indivíduo, sobre a materialidade percebida.

A despreocupada expansão da formação cultural, nas condições vigentes, de acordo com Adorno (2005) é, de modo imediato, sua própria aniquilação. Portanto, “a única possibilidade de sobrevivência que resta à cultura é a autorreflexão crítica sobre a semiformação, em que necessariamente se converteu” (ADORNO, 2010, p. 39).

A Educação Química, para se tornar formativa e versar sobre a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), deve romper sua raiz na ciência tradicional, ou seja, com sua ideia instrumentalizada, sem questionamentos ou reflexões profundas e dissociada da sua concepção sócio-histórica. Portanto, para que se torne conhecimento emancipatório para o indivíduo e para a sociedade, ela precisa fazer parte de uma práxis transformadora e deve ser orientada por discussões mais abrangentes, como por exemplo, as contribuições recentes na área de Química Verde e Sustentável (ZUIN et al, 2019; ANDRADE; ZUIN, 2021; 2022), pois essas integrações possibilitam um exercício sobre a materialidade, em um processo formativo.

Sendo assim, a formação crítica implica uma transformação do sujeito e exige tempo de reflexão e continuidade, em contraste com o imediatismo e a fragmentação de racionalidade formal (ZUIN, 2012). Ou seja, é necessário que o sujeito seja inserido em um exercício de cidadania, que se reconheça pertencente nas relações com a ciência, tecnologia, sociedade e ambiente para que possa agir, de forma crítica, sobre as questões sociocientíficas que os atingem direta ou indiretamente.

2.3 PERSPECTIVAS DA EXPERIMENTAÇÃO ORIENTADA PARA FORMAÇÃO CRÍTICA

As condições sob as quais a formação crítica pode florescer estão sendo minadas, quase que sistematicamente, tanto na Educação Básica, como no Ensino Superior. Esse cenário é decorrente do desenvolvimento da educação como instrumentalização do ensino e não como formação.

O laboratório de Química tem retratado esse contexto em muitas ocasiões, principalmente, quando prevalece a noção de que os ensaios laboratoriais são autossuficientes e sua produção é descontextualizada em relação às determinações socioculturais que as geraram (ZUIN, ZUIN, 2017).

Para que os meios e métodos sejam educacionalmente eficazes, eles devem requerer diligentes habilidades em lidar com informações e sua transformação para outras informações (GRUSCHKA, 2014). Dessa maneira, é necessário que a realização das etapas de um trabalho experimental seja fundamentada na realidade, em pressupostos epistemológicos de uma teoria e que seja produto das determinações socioculturais, de modo que a prática e a teoria sejam criticamente relacionadas (ZANDONAI et al., 2014).

É importante que a abordagem experimental impulse os estudantes à busca de conhecimento, para desenvolver técnicas, de modo conscientizar a sua relação com o ambiente e suas implicações com a saúde humana. Esse modelo permite aos estudantes experiências e autonomia quanto ao seu processo de aprendizagem, pois são eles quem desenvolvem o procedimento que investigará o problema sociocientífico, decidem quais dados colocar, como

interpretar e quais as soluções são mais viáveis. Nesse processo de subjetivação, os indivíduos se tornam “autônomos –sujeitos de ação e responsabilidade” (BIESTA 2012c, p. 7).

No processo formativo crítico, o papel do indivíduo deve ser entendido como um processo reflexivo (BIESTA, 2012b). Dessa forma, o experimento para a Educação Química, além do seu caráter técnico, deve possuir uma forte visão socioambiental que permite aos estudantes repensar valores e ações a partir de questões autênticas e controversas.

As práticas experimentais devem estar alinhadas a questões sociocientíficas que tenham relevância ou significado pessoal para o aluno, no presente ou no futuro como tendo potencial para aumentar a sua capacidade de autodeterminação, participação na sociedade e solidariedade com os outros.

Diante desse cenário, o conhecimento derivado da experiência vivenciada, a partir de questões sociocientíficas, é aprofundado e permanece, ainda que transformado, permitindo condições para que o sujeito possa estabelecer, criticamente, os julgamentos necessários às suas intervenções no mundo material (BENJAMIN, 1991; ZUIN; ZUIN, 2016).

Nessa perspectiva, a inserção da problematização no experimento se torna aspecto importante no processo de formação crítica, pois à medida que propõe questões socialmente relevantes para a vida dos estudantes na sociedade atual, oportuniza, a partir dos conhecimentos adquiridos, a tomar decisões informadas, tanto em sua vida pessoal, quanto como cidadãos engajados em processos democráticos. A formação crítica, como prática (SUAREZ, 2005), possibilita ao sujeito se tornar propulsor na melhoria das relações sociais, científicas, tecnológicas e ambientais.

3 QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL: do estabelecimento dos princípios às necessidades educacionais

Reconhecer a importância da química para melhorar a vida das pessoas e garantir o bem-estar do planeta é tratá-la a partir de métodos criativos e inovadores e, com esses, traçar estratégias para reduzir o desperdício, economizar energia e descobrir substituições de substâncias perigosas; ou seja, é pensar a química nos pilares econômicos, sociais e ambientais.

O termo “Química Verde” foi estabelecido inicialmente nos EUA, enquanto o termo “Química Sustentável” se estabeleceu na Europa. Hoje, levando em consideração a mudança na química em direção a uma visão holística de práticas verdes e sustentáveis, há uma crescente discussão no contexto internacional sobre a Química Verde e Sustentável (QVS) (QUIS, 2019).

A Química Verde (QV) e a Química Sustentável (QS) têm, em comum, um projeto, fabricação e uso benigno de produtos e serviços químicos eficientes, efetivos, seguros e inofensivos ao meio ambiente. No entanto, enquanto a Química Verde se dedica, principalmente, a questões técnicas e de engenharia, como síntese, economia de átomos e uso de solventes, e, portanto, deriva de uma perspectiva de design e produção, a Química Sustentável abrange todas as etapas do ciclo de vida, bem como implicações diretas e indiretas nas áreas circundantes, abordando diferentes perspectivas, além de aspectos ambientais como economia e sociedade (BLUM et al., 2017).

Hoje, as transições são fluidas, de modo que, as inovações em Química Verde e sustentável adotam abordagens comuns ao gerenciamento de produtos químicos que podem reduzir os riscos para a saúde humana, ecossistemas e economias (QUIS, 2019).

A incorporação da Química Verde e Sustentável, na Educação Química, é imprescindível na melhoria da eficiência com que os recursos naturais são usados para atender às necessidades humanas de produtos químicos, evitando danos ambientais, reduzindo ou eliminando as emissões e exposições a substâncias perigosas, minimizando o uso de recursos e beneficiando a economia, pessoas e meio ambiente. Analisar como essa incorporação é feita, por pesquisadores e profissionais da área, nos permite identificar e propor uma nova projeção para incorporação da Química Verde e Sustentável (QVS) na Educação Química.

Portanto, a seguir será apresentada uma visão geral da origem e desenvolvimento da Química Verde e da Química Sustentável, do ponto de vista histórico, e de como a visão holística de práticas verdes e sustentáveis estão sendo inseridas na Educação.

3.1 QUÍMICA VERDE

A geração de produtos e subprodutos tóxicos, que levam à contaminação do ambiente, incluindo os seres humanos, tornou-se uma preocupação, aumentando a pressão sobre as indústrias químicas e demais fontes poluidoras, tanto por parte da sociedade civil, quanto das autoridades governamentais (CORREA; ZUIN, 2009).

A necessidade de um desenvolvimento harmonioso entre os setores econômico, social e ambiental requer que a química se apresente, sob uma nova conduta, para que processo e produtos sejam aprimorados, no sentido de minimizar a geração de resíduos e efluentes tóxicos. Essa filosofia, conhecida como Química Verde, foi definida por Paul Anastas e John Warner (1998) como a utilização de um conjunto de princípios que promove a redução ou eliminação do uso, ou a geração de substâncias perigosas no projeto, fabricação e aplicação de produtos químicos.

A preocupação com a geração de resíduos tóxicos e persistentes tem início na década de 1960 marcada pela publicação do livro científico *Silent Spring*, de Rachel Carson, em 1962. Carson descreveu a devastação que certos produtos químicos tiveram nos ecossistemas locais. Seu livro foi um alerta sobre as questões ambientais para o público e para os cientistas, além de inspirar o movimento ambiental moderno. Em 1969, o Congresso dos EUA reconheceu a importância da questão e aprovou a National Environmental Policy Act² (NEPA). O objetivo da lei era criar e manter condições sob as quais as pessoas e a natureza pudessem existir em harmonia produtiva. Além disso, solicitava um Conselho Presidencial de Qualidade Ambiental (MARCO et al., 2019; ACS, 2010).

Na década de 1970, houve o estabelecimento da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (*Environmental Protection Agency* – EPA), uma agência reguladora federal dedicada,

² Lei Nacional de Política Ambiental, a primeira grande lei ambiental dos EUA.

exclusivamente, à proteção da saúde humana e do meio ambiente. A primeira grande decisão da EPA foi proibir o uso de DDT e outros pesticidas químicos (ACS, 2010). Nessa mesma década, em 1973, o professor Barry Trost propôs a “economia de átomos”, atualmente um dos princípios da Química Verde. Para ele, a mensuração do sucesso de um processo químico deveria ser feita de acordo com a eficiência da reação, na qual o máximo possível de átomos do reagente deveria estar no produto (WOODHOUSE; BREYMAN, 2005).

Até a década de 1980, a indústria química e a EPA estavam concentradas, principalmente, na limpeza da poluição e toxinas óbvias, mas uma grande mudança de paradigma começou a ocorrer entre os químicos. Com a crescente conscientização ambiental, líderes da indústria e do governo começaram a pesquisar caminhos para prevenir a poluição, logo, iniciaram conversas internacionais abordando os problemas e procurando soluções preventivas (ACS, 2010).

Diante desse cenário, durante a década de 1980, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (*Organization for Economic Co-operation and Development* OCDE), uma organização internacional de mais de 30 países industrializados, realizou reuniões abordando questões ambientais com o objetivo de estabelecer recomendações internacionais focadas em uma mudança cooperativa nos processos químicos existentes e na prevenção da poluição. Como produto, foi estabelecido o Escritório de Prevenção da Poluição e Tóxicos em 1988 (LINTHORST, 2009).

A década de 1990 marcou a aceitação acelerada da prevenção da poluição e o estabelecimento da Química Verde como um campo científico legítimo. Os primeiros passos relacionados à institucionalização da Química Verde foram dados com a Lei de Prevenção da Poluição criada em 1990 nos Estados Unidos que estabeleceu, como prioridade, a solução dos problemas ambientais e a redução nas fontes (ANASTAS; KIRCHHOFF, 2002).

No ano seguinte, a agência ambiental norte-americana (“Environmental Protection Agency”, EPA) lançou o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”, com o objetivo de financiar projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção de poluição em suas sínteses. Em 1992, o respectivo programa incluiu outros temas, tais como: solventes ecológicos e produtos químicos mais seguros. Ademais, houve a expansão e renomeação deste programa, que a partir de então, adotou, oficialmente, o nome de Química Verde. Alguns anos

depois, em 1995, 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 (CORRÊA; ZUIN, 2009; FARIAS; FÁVARO, 2011).

Na Itália, em 1993, foi estabelecido o Consórcio Universitário Química para o Ambiente (*“Interuniversity Consortium Chemistry for the Environment”* – INCA), com a finalidade de reunir pesquisadores envolvidos com as questões químicas e ambientais para discussão de tópicos de interesse da química mais limpa, através da pesquisa em reações, produtos e processos mais limpos. Anualmente, o INCA promove sua Escola Internacional de Verão em Química Verde, que reúne estudantes das diferentes áreas de concentração da química de mais de 20 países (CORRÊA; ZUIN, 2009).

Em 1997 foi criado o Instituto de Química Verde (*“Green Chemistry Institute”* – GCI), que desde janeiro de 2001 tem parceria com a Sociedade Americana de Química (*“American Chemical Society, ACS”*). Nesse mesmo ano, a IUPAC (*“International Union for Pure and Applied Chemistry”*) organizou sua Primeira Conferência Internacional em *“Green Chemistry”*, em Veneza (LENARDÃO et al., 2003).

No fim dessa década, em 1998, com o livro *Green Chemistry: Theory and Practice*, Paul Anastas e John C. Warner (1998) estabeleceram os 12 princípios da Química Verde e apresentaram uma filosofia que motivou os cientistas, acadêmicos e industriais da época, e continua a orientar o processo do movimento de Química Verde, conquistando cada vez mais espaço em todo mundo, sendo considerada como propulsora para o desenvolvimento sustentável.

As principais diretrizes para a prática da Química Verde constituem os chamados doze princípios da Química Verde (ANASTAS; WARNER, 1998; CORRÊA; ZUIN, 2009), os quais permitem uma concepção do que tornaria um processo, ou produto químico, mais ecológico:

Quadro 1 – Os 12 Princípios da Química Verde.**1. Prevenção**

Prevenir a formação de resíduos é melhor e mais barato que a remediação ou tratamento posterior deles.

2. Economia de átomos

As reações devem ser desenhadas para maximizar a incorporação de todos os átomos dos reagentes nos correspondentes produtos.

3. Reações com compostos de menor toxicidade

Sempre que possível, as reações devem ser projetadas para usar e gerar substâncias que apresentem pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.

4. Desenvolvimento de produtos químicos seguros

Os produtos químicos devem ser projetados de modo que cumpram a função desejada e apresentem pouca ou nenhuma toxicidade.

5. Redução do uso de solventes e auxiliares

O uso de substâncias auxiliares (por exemplo, solventes, agentes de separação etc.) deve ser evitado sempre que possível e, quando necessário, estes devem ser inócuos.

6. Eficiência energética

As exigências energéticas dos processos químicos devem ser reconhecidas por seus impactos ambientais e econômicos e devem ser minimizadas. Se possível, os métodos sintéticos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambiente.

7. Uso de matérias-primas renováveis

O uso de matéria-prima renovável deve ser escolhido em detrimento de fontes não-renováveis (como petróleo).

8. Evitar a formação de derivados

A derivatização desnecessária (uso de grupos de bloqueio, proteção/desproteção, modificação temporária de processos físicos/químicos) deve ser minimizada ou evitada, se possível, porque tais etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

9. Catálise

Os reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são superiores aos reagentes estequiométricos.

10. Desenvolvimento de substâncias degradáveis

As substâncias devem ser projetadas de forma que, ao final de sua função, sejam decompostas em produtos inócuos e que não persistam no ambiente.

11. Análise em tempo real para prevenção de poluição

Métodos analíticos precisam ser desenvolvidos e aplicados para permitir monitoramento e controle em tempo real, em processo, antes da formação de substâncias perigosas.

12. Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes

As substâncias usadas em um processo químico devem ser escolhidas de forma a minimizar o potencial de acidentes, como vazamentos, explosões e incêndios.

Fonte: Adaptado de ANASTAS; WARNER (1998) e CORRÊA; ZUIN (2009).

Atualmente, vemos um crescente interesse, não só por parte da indústria, mas também da academia, instituições governamentais e demais segmentos da sociedade, nacionais e internacionais, aos princípios da Química Verde, a qual se apresenta como uma ferramenta poderosa, cada vez mais necessária em direção a práticas sustentáveis que associam prosperidade econômica à responsabilidade social e ambiental.

Por conseguinte, a Química Verde, por meio de seus princípios técnicos, se constitui em um dos pilares centrais para a construção de uma abordagem química mais ampla na contemporaneidade e, portanto, adequada para se enfrentar as complexas relações quando pensamos em ambiente, sociedade, educação e modos de produção e reprodução da vida.

3.2 QUÍMICA SUSTENTÁVEL

A noção de Química Sustentável também foi desenvolvida nos anos 90, iniciada, mais precisamente, em 1998, com a *Organization for Economic Co-operation and Development* (OCDE), essa que é focada, principalmente, no desenvolvimento de orientações para o estabelecimento de programas de pesquisa e desenvolvimento em Química Sustentável, desempenhando um papel importante no avanço desse conceito (OCDE 2012).

Desde 2002, em nível político global, as Nações Unidas conduzem e promovem um debate internacional sobre desenvolvimento sustentável. No entanto, a Química Sustentável, até o momento, não apareceu, significativamente, nas discussões sobre desenvolvimento sustentável.

Em 2004, no *International Workshop on Sustainable Chemistry*, um desenvolvimento adicional do conceito de sustentabilidade, o qual leva em conta as fronteiras planetárias, foi proposto, conjuntamente, pelas Agências Alemãs (*Federal Institute for Occupational Safety and Health – BauA* e *German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety – BMU*) e pela OCDE (UMWELTBUNDESAMT, 2004; QUIS, 2019).

Hoje existem várias definições sobre Química Sustentável, entre elas, a da Organização *Chemistry Europe*³, essa que entende a Química Sustentável em uma percepção interdisciplinar da química e das necessidades humanas e do ambiente (SUSCHEM, 2019). Enquanto, a *American Chemical Society* (ACS) e a EPA dos EUA usam o termo “Química Sustentável” como sinônimo de “Química Verde” (ACS, 2019b; EPA, 2017).

Embora as definições aceitas, em todo o mundo, ainda estejam em desenvolvimento, a OCDE caracteriza a Química Sustentável como “um conceito científico que busca melhorar a

³ Chemistry Europe é uma associação de 16 sociedades químicas de 15 países europeus.

eficiência com a qual os recursos naturais são usados para atender às necessidades humanas de produtos e serviços químicos” (OCDE, 2019).

A Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2019) apresenta, dentre os benefícios ambientais e sociais da Química Sustentável:

- Evitar o uso de materiais persistentes, bioacumulativos, tóxicos ou outros perigosos;
- Utilizar recursos renováveis e diminuir o consumo dos não renováveis;
- Minimizar os impactos ambientais negativos do processamento e fabricação de produtos químicos;
- Fornecer tecnologias vantajosas não apenas para a indústria;
- Promover ações justas, equitativas, inclusivas e diversas, bem como pensamento sistêmico; considerando também, outros campos e setores, como: educação, ética, dentre outros, globalmente.

Em 2015, quando a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável foi adotada, a Química Sustentável passou a ser uma fonte importante de contribuições sustentáveis. Nesse contexto, a Química Sustentável se torna um elemento crítico para se alcançar os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) – estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015a; 2015b).

Esses objetivos foram definidos em setembro de 2015, durante uma coletiva global, por 193 membros, de diferentes nações, e deverão ser alcançados até o ano de 2030. A ACS (2019) identificou sete ODS prioritários, fundamentais, para o trabalho da comunidade química: fome zero (ODS 2); Boa saúde e bem-estar (ODS 3); água limpa e saneamento (ODS 6); energia limpa e acessível (ODS 7); indústrias, inovação e infraestrutura (ODS 9); consumo e produção responsáveis (ODS 12) e ação climática (ODS 13).

No entanto, gostaríamos de destacar uma ODS não inserida e fundamental: educação de qualidade (ODS 4), essa que visa “Garantir até 2030 que todos os alunos adquiram o conhecimento e as habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável” (4.7). A Química Sustentável ajudará a comprimir esse objetivo equipando os estudantes com o conhecimento e as competências que precisam para que estejam mais conscientes de suas práticas cotidianas e aprimorem sua capacidade de resolver questões de sustentabilidade, como

também, para que se envolvam como cidadãos informados na realização da transformação necessária para o ambiente do qual dependem.

O conceito de Química Sustentável deve ser encarado como uma ferramenta importante para abordar a agenda global para 2030, pois sua inserção, no âmbito educacional, representa mudanças significativas no que se refere às concepções de responsabilidade socioambiental, possibilitando que os indivíduos contribuam para alcançar os ODS.

Portanto, a Química Sustentável, hoje, pode ser compreendida como um conceito que vai além das questões tecnocientíficas. As inovações em química, nesse sentido, podem ajudar o mundo a alcançar metas de sustentabilidade, de maneira a reduzir os impactos ambientais, aliviar a fome e melhorar a qualidade de vida.

Considerando as necessidades de inserção da química sustentável como um conceito holístico (QUIS, 2019) e com vistas aos ODS, foram estabelecidos sete Princípios Orientadores da Química Sustentável a serem aplicados em todas as áreas químicas:

Quadro 2 – Princípios Orientadores da Química Sustentável.

1. Design e uso de produtos químicos seguros

Incentiva decisões ambientais que promovam o uso sustentável de recursos e a prevenção de resíduos.

2. Desenvolvimento e uso de soluções sustentáveis

A partir da adoção de produtos e processos ecológicos pela indústria, pela academia e pelo governo que beneficie a economia, as pessoas e o ambiente.

3. Redução de impactos

Deve ocorrer suporte e realização de avaliações de risco e proteção da saúde humana e do meio ambiente nas atividades desenvolvidas principalmente pela indústria.

4. Conservação de recursos naturais

Melhorar a eficiência com que os recursos naturais são utilizados para atender às necessidades humanas, evitando danos ambientais; minimizar o uso de recursos não renováveis.

5. Considerar o ciclo de vida dos produtos

Incluir fabricação, uso e descarte, quando avaliar o impacto ambiental de um produto; praticar a economia circular.

6. Promoção de reutilização e reciclagem

Adoção de procedimentos que visam aproveitar resíduos, transformando em um novo produto com uma nova função;

7. Incentivo a práticas sustentáveis

Por meio de apoio à pesquisa e desenvolvimento em tecnologias sustentáveis, assim como, de profissionais para definir e executar o conceito de sustentabilidade.

8. Aplicação de responsabilidade social

É necessária uma harmonização global apropriada de iniciativas ambientais, de saúde e segurança para promover a ciência e a tecnologia em todo o mundo.

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

Analisando esses princípios, observamos que a Química Sustentável é simultaneamente um caminho e uma meta. Não deve ser compreendida como uma nova subdisciplina da química, mas como um princípio norteador em que todas as partes precisam fazer esforços conjuntos para desenvolverem estratégias comuns de ação. Esse novo auto entendimento, de acordo com Kümmerer (2017), é a marca registrada de uma Química Sustentável e a chave para uma verdadeira contribuição sustentável da química para os desafios futuros.

A Química Sustentável é, portanto, uma abordagem holística que busca a produção contínua de produtos químicos mais seguros, tanto pela seleção de alternativas, quanto pela pesquisa e desenvolvimento de novos produtos químicos. Essa abordagem implica que, além da indústria química, os fabricantes de produtos e os consumidores são atores importantes, que têm seu papel na abordagem de inovação de sistemas (BLUM et al., 2017). Portanto, para desenvolver uma Química Sustentável as fontes tecnológicas, econômicas, industriais, organizacionais, institucionais e socioculturais de aprisionamento precisam ser superadas, visto que estão na raiz de nossos problemas ambientais, econômicos e sociais persistentes.

Essa abordagem holística distingue a Química Sustentável da Química Verde ao mesmo tempo em que as integram, estabelecendo uma relação de complementaridade igualmente importantes (BLUM et al., 2017).

A Química Verde e Sustentável (QUIS, 2019) cresceu, significativamente, nos últimos anos de forma a beneficiar as pessoas e o planeta na medida em que busca atingir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS); pois, enquanto a Química Verde fornece as diretrizes científicas, a Química Sustentável expande o escopo para levar em conta outras dimensões que se relacionam a temas globais.

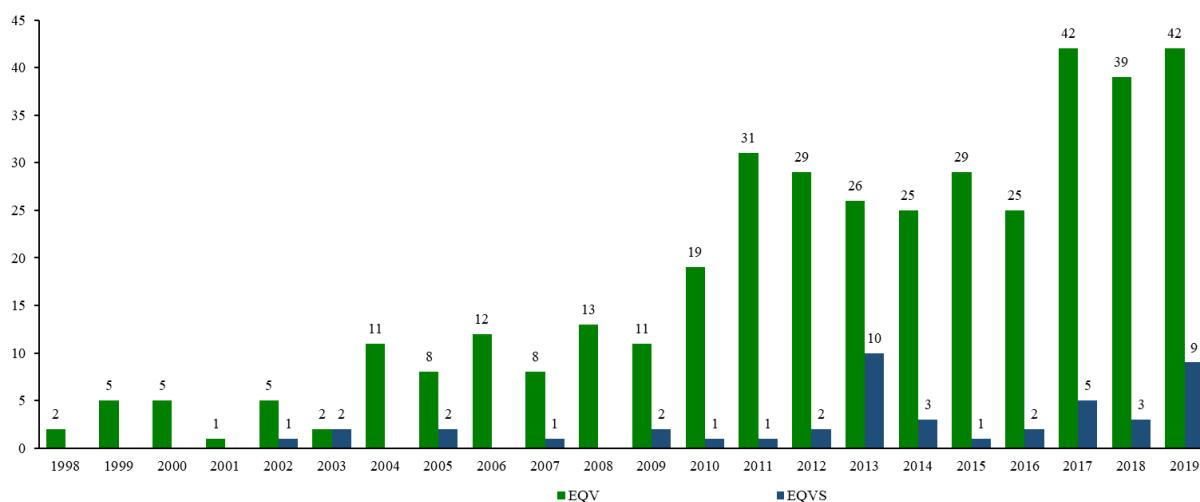
Estudos ressaltam a necessidade de tornar os princípios da Química Verde e Sustentável parte integrante da educação e prática química (COLLINS, 2001; EILKS; ZUIN, 2018). Portanto, a educação e a inovação em Química Verde e Sustentável estão entre os principais fatores de mudança para o Desenvolvimento Sustentável (QUIS, 2019). Dessa forma, a filosofia, os princípios e a engenharia verde e sustentável devem ser incorporados de acordo com os níveis de educação para que químicos, engenheiros, e demais ofícios relacionados, tenham uma compreensão de sustentabilidade.

3.3 A QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL NA EDUCAÇÃO QUÍMICA

A química, para um mundo sustentável, requer, além de químicos altamente qualificados, profissionais da educação que promovam uma alfabetização em Química Verde e Sustentável nos diferentes níveis de ensino. Analisar como essa incorporação é feita por pesquisadores e profissionais da área nos permite discorrer e propor uma nova projeção para incorporação da Química Verde e Sustentável (QVS) na Educação Química⁴.

Embora a Química Verde e Sustentável seja necessária para fornecer uma nova visão e uma filosofia diferente de fazer e usar a química na educação (EILKS; ZUIN, 2018), não é visto um aumento significativo de pesquisas em Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS), principalmente se compararmos com as publicações referentes, apenas, à Educação em Química Verde (EQV), como podemos observar no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparação da distribuição das publicações em Educação em Química Verde (EQV) e Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS) por ano



Fonte: Adaptado de Andrade et al., (2022).

⁴ Para essa análise foi realizado um levantamento a partir de publicações nas bases de dados *Web of Science*, *Education Resources Information Center* (ERIC) e *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) por meio de buscas avançadas por “*Green Chemistry*” “*Sustainable Chemistry*” “*Education*”. A sistematização foi realizada através do programa Microsoft Excel 2019 e a compreensão das características que envolvem a incorporação da Química Verde e Sustentável (QVS) na Educação Química foi orientada pelos princípios da análise de conteúdo (BARDIN, 2002) por permitir uma interpretação das informações de forma explícita e sistemática.

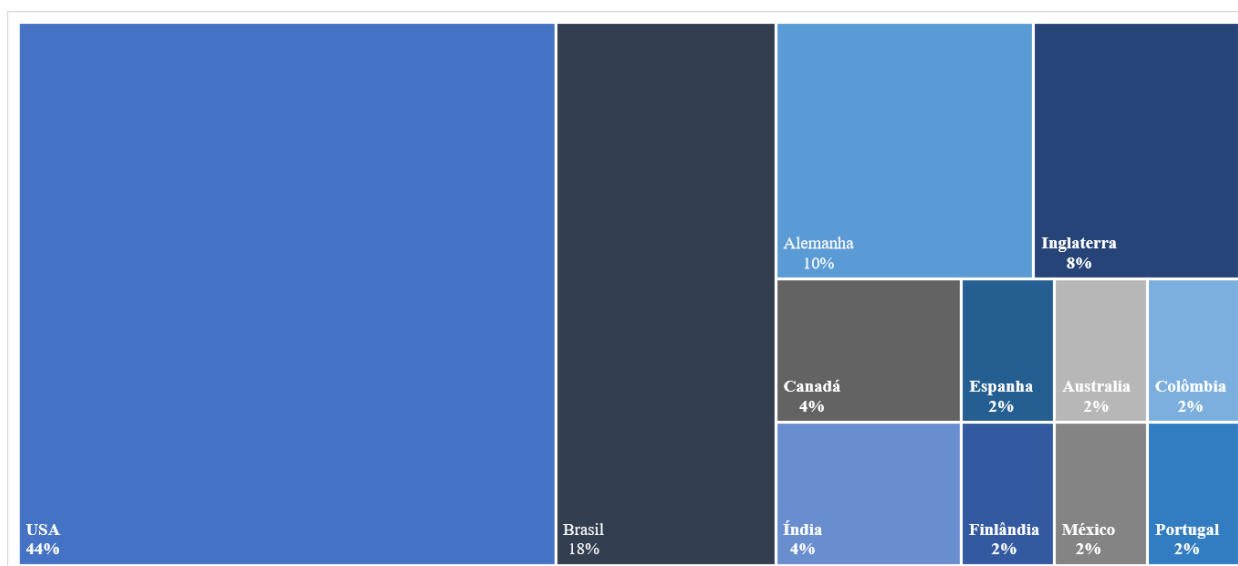
Nos últimos anos, a necessidade de tornar o mundo um lugar melhor, em termos de prosperidade e bem-estar, tem levado o interesse da comunidade científica pela Educação em Química Verde e Sustentável, bem como impulsionado a expansão do número de publicações através de conferências como *ConfChem – Conference on Educating the Next Generation*, que ocorreu em 2010, organizado pela *Division of Chemical Education (DivCHED)*⁵ – que tem, dentre seus papéis, facilitar a incorporação dos princípios de sustentabilidade e Química Verde no currículo de química em vários níveis de ensino – teve sete de seus trabalhos publicados, em 2013, no *Journal of Chemical Education*; Conferências no contexto acadêmico-profissional, como a “*Green & Sustainable Chemistry Conference*”, também ganham destaque, ocorrendo, desde 2016, todos os anos, contribuindo com a implementação da visão holística da QVS na Educação; Periódicos como *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, com primeira edição em 2016, também fornece reflexões atuais sobre desenvolvimentos recentes e perspectivas futuras sobre o design, implementação e avaliação da QVS.

Grande parte dessas publicações foram realizadas no periódico *Journal of Chemical Education*, correspondendo a 33% dos trabalhos analisados. A Química Nova, um periódico nacional, compreendeu 13% de todo o levantamento realizado, colocando o Brasil como um dos produtores de conhecimento na área.

De acordo com o Gráfico 2, o Brasil representa 18% de toda a produção em EQVS, Grupos de Pesquisa, como o Grupo de Estudo e Pesquisa em Química Verde Sustentabilidade e Educação, que desde 2010 tem realizado estudos interdisciplinares, incluindo o conhecimento científico, principalmente, nas áreas de Química e Ciências do Ambiente, incluindo a Educação sob uma perspectiva crítica (GPQV, 2019). Eventos como o Encontro da Escola Brasileira de Química Verde, que ocorre desde 2010, vem apresentando temas mais integrados à sustentabilidade, promovendo uma visão holística da QVS.

Nesse ranking, o Brasil fica atrás, apenas, dos Estados Unidos (USA), que abrange 44% de todas as publicações e que possui a maior sociedade química do mundo a *American Chemical Society*.

⁵ A *Division of Chemical Education (DivCHED)* é uma das divisões técnicas da *American Chemical Society (ACS)*.

Gráfico 2 – Distribuição das publicações em EQVS por país.

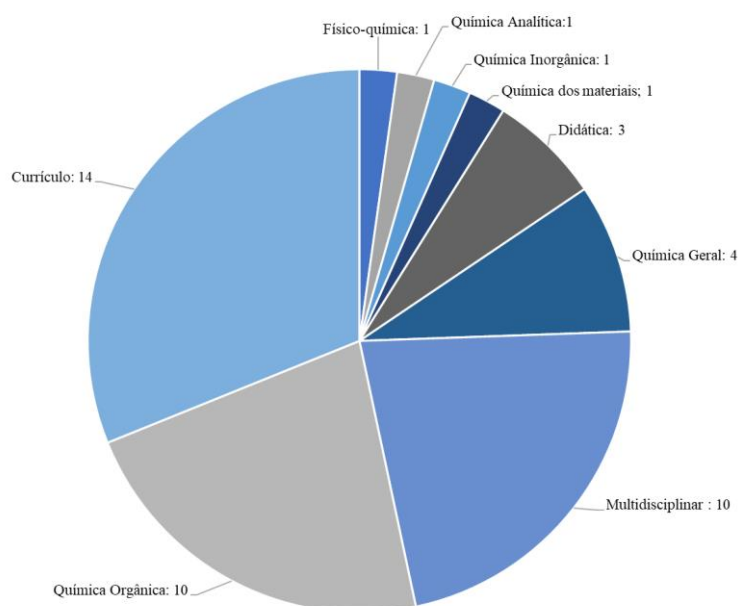
Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

É importante destacar, também, as produções alemãs (10%) com destaque para as pesquisas realizadas na *Universität Bremen*, a qual possui um Centro de Pesquisa em Sustentabilidade (*Sustainability Research Center – ARTEC*), um centro interdisciplinar, incluindo professores das Ciências Sociais, Engenharia de Produção, Economia, Pedagogia, Ciências da Educação e Ciências Humanas e da Saúde. Além de promover eventos como *Symposium on Chemistry and Science Education*, que em seus últimos anos tem dado ênfase na Educação para o Desenvolvimento Sustentável (UNI-Bremen, 2012).

Na Inglaterra, com 8% da produção mundial sobre o tema, destacamos as ações da *Universidade de York*, que trabalha, conjuntamente, com funcionários, estudantes e a comunidade para incorporar o pensamento sustentável em todas as áreas da Universidade, a partir de ações como: consumir e adquirir mercadorias com mais responsabilidade, manter a sustentabilidade na vanguarda de nossa pesquisa, trabalhar ao lado de nossa comunidade e meio ambiente locais, incorporar a sustentabilidade em nossa educação e promoção da saúde e bem-estar (UK, 2013).

As pesquisas desenvolvidas nos diferentes países, sobre a Química Verde e Sustentável, para a Educação, têm sido incorporadas a diferentes áreas, assim como disposto no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Distribuição das publicações em EQVS por subárea.⁶



Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

Das publicações analisadas, a maioria apresentava discussões sobre aspectos para facilitar a incorporação dos princípios de sustentabilidade e Química Verde no currículo de química em vários níveis de ensino, especialmente, no Ensino Superior, com concentração de 62% dos trabalhos e os demais distribuídos entre o Ensino Fundamental (19%) e Ensino Médio (19%).

As discussões sobre currículo em Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS) são recentes, os primeiros trabalhos surgem em 2013 enfatizando a importância de uma mudança na prática da química na educação e como os currículos correspondentes precisam ser desenvolvidos. No entanto, tornou-se um campo emergente e de intensa pesquisa, por fornecer os aspectos necessários para uma nova maneira de aplicar e ensinar química, seja como

⁶ As subáreas foram determinadas a partir da Tabela das Áreas de Conhecimento (CAPES) para as áreas do conhecimento: Química (10600000), Educação (70800006) e Multidisciplinar (90000005).

disciplina na Educação Básica e nas universidades ou para preparar a próxima geração de estudantes de química.

Tendo isso em vista, é importante salientar a necessidade de educar cidadãos responsáveis pela indústria, como formuladores de políticas ou informar o público em geral (EILKS; ZUIN, 2018).

As subáreas da química, como a Química Orgânica, também aparecem com um número considerável de trabalhos. Essa, considerando os reagentes e as sínteses em ensaios nos laboratórios, tem maior atenção, desde a criação dos princípios da Química Verde, quando se pensa em “Solventes e Auxiliares mais Seguros” (princípio 5), no sentido de substituir solventes orgânicos convencionais, que são frequentemente tóxicos, por solventes verdes, por exemplo. Esses aspectos refletem a maior concentração das publicações dessa área no Ensino Superior (90%) e demais no Ensino Médio.

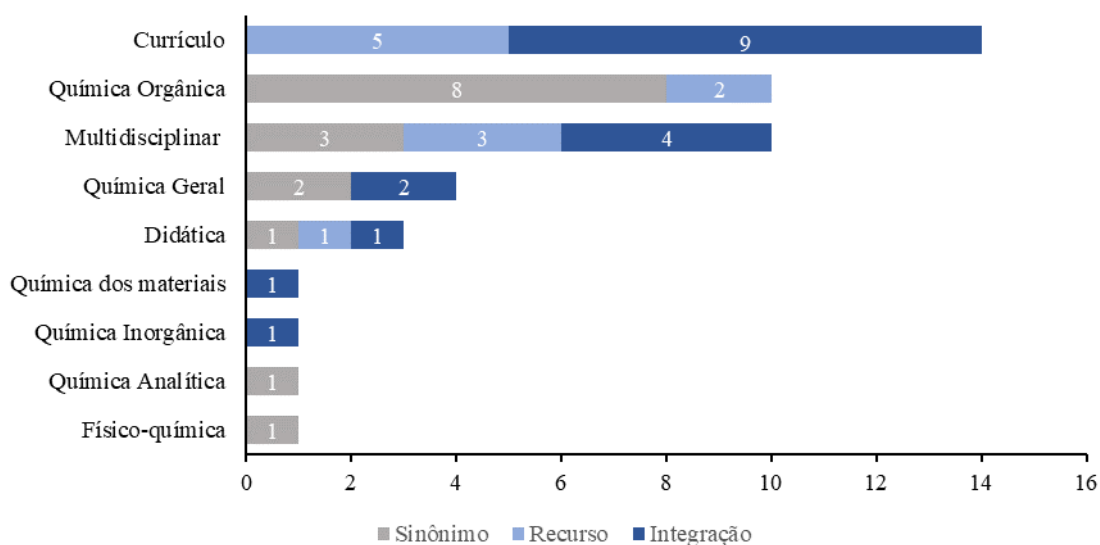
As primeiras publicações da EQVS envolveram aplicações laboratoriais para o ensino, mas também ocorreram na subárea da Química Orgânica, em 2002. A expansão das discussões, acerca da EQVS, em outras áreas específicas da química, como Química Geral e Química Analítica, só foram identificadas a partir de 2012.

As publicações, referentes a subárea multidisciplinar, refletem a visão holística e integrada da EQVS no alcance da EDS, que se tornou um paradigma na política educacional internacional nas últimas décadas. Nessas publicações, são apresentadas perspectivas teóricas para o desenvolvimento profissional e de práticas de professores para promover a EDS no ensino de química, tanto para os níveis de ensino básico (Ensino Fundamental 25%; Ensino Médio 26%), quanto de nível superior (49%).

Dentre as produções em Educação em Química Verde, podemos identificar três categorias: **sinônimo**, em que a Química Verde e Química Sustentável são tratadas como sinônimos, não compreendendo o sentido mais amplo da QS; **recurso**, reconhece que a Química Verde e Química Sustentável não são sinônimos e enfatiza o uso da QV (filosofia e princípios) como recurso para alcançar a QS no sentido do desenvolvimento de práticas sustentáveis; **integração**, os princípios e filosofia da Química Verde e Química Sustentável devem ser desenvolvidas em colaboração para o estabelecimento da EDS.

A distribuição dessas categorias analisadas por área de concentração é identificada no Gráfico 4:

Gráfico 4 – Distribuição das publicações em EQVS por categoria.



Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

A categoria **sinônimo** foi identificada em 36% das publicações compreendendo, principalmente, as áreas específicas da química, correspondendo, especialmente, a práticas experimentais⁷ e desenhos didáticos⁸. Essa categoria está centralizada na compreensão da Química Verde como sinônimo da Química Sustentável, uma vez que, a Química Verde é conhecida, desde o início, como “a química da sustentabilidade” (BEACH; CUI; ANASTAS, 2009). No entanto, a Química Verde por si só, não importa quão fundamental, ampla em alcance e impacto, não será suficiente para alcançar uma civilização sustentável. (ANASTAS; ZIMMERMAN, 2018).

No trabalho apresentado por McAllister e Parsons (2019), fica evidente esse cenário. Os autores, ao buscarem desenvolver as importantes habilidades de pesquisa envolvidas na química de processos sustentáveis, retêm seus objetivos de ensino aos aspectos da Química

⁷ **Práticas experimentais** se referem às publicações que explicitam práticas laboratoriais verdes e sustentáveis voltadas para o ensino.

⁸ **Desenhos didáticos** tratam das publicações que lidam com ideias originais, como softwares inovadores, formato de aulas e cursos, análise de experiências de aplicações de novas metodologias.

Verde, portanto, práticas sustentáveis em laboratório de química orgânica são sinônimos de “saber como modificar uma reação afeta suas métricas de Química Verde” (MCALLISTER; PARSONS, 2019, p. 2618). É importante reconhecermos que a Química Verde é peça fundamental, contudo, há muito mais que apenas pensar em produtos e processos menos nocivos, mais seguros e eficientes, é necessário maneiras inovadoras de reduzir o desperdício, economizar energia e beneficiar a economia, as pessoas e o planeta.

Publicações nacionais (MARIA et al., 2009; REIZNAUTT et al., 2013; MARTINS et al., 2017; CUNHA; MATOS, 2017) evidenciam essa compreensão de forma ainda mais superficial, além de compreender os termos como sinônimos, eles são reduzidos apenas à promoção de alternativas menos perigosas de fazer os mesmos processos através do uso de materiais/substâncias naturais em substituição a reagentes convencionais, nos laboratórios de ensino. No entanto, a redução ou eliminação de substâncias perigosas, em processos químicos, deve ser pensada de forma mais ampla para o enfrentamento das complexas relações quando pensamos em ambiente, sociedade e educação.

Portanto, trabalhos que têm a Química Sustentável como sinônimo da Química Verde nos causam preocupação sobre como a Química Verde e Sustentável estão sendo discutidas e abordadas na Educação Química, nos diferentes níveis, principalmente, nos laboratórios de ensino.

A categoria **recurso** é identificada em um menor número de publicações (24%), centralizada, principalmente, na área de currículo. Nessa categoria, a Química Verde e seus princípios é compreendida como uma ferramenta para que se possa alcançar uma Química direcionada para o bem-estar e a qualidade de vida. Nessa categoria, a Química Sustentável, muitas vezes, é confundida como sinônimo de Desenvolvimento sustentável, no entanto, ela é um alicerce para o alcance do Desenvolvimento Sustentável.

No trabalho apresentado por Eissen (2012), podemos verificar essa falta de clareza quando o autor utiliza a definição de Desenvolvimento Sustentável de acordo com o Relatório Brundtland (ONU, 1987) e as dimensões da sustentabilidade, para fundamentar a ideia do conceito de Química Sustentável quando afirma que “tendo em mente as três dimensões da sustentabilidade – economia, meio ambiente e assuntos sociais –, a ideia do conceito de Química Sustentável toma forma no trabalho diário de laboratório” (EISSEN, 2012, p. 103).

Dessa forma, é importante ter clareza sobre cada termo para se poder organizar um caminho claro sobre como incorporá-los em suas dimensões.

Outro aspecto dessa categoria também é observado no trabalho de Eissen (2012), quando ele estabelece a inserção da Química Sustentável na Educação pela aplicação de métricas, pois, segundo ele, “métricas apropriadas poderiam apoiar um desenvolvimento de produto socialmente aceitável, ecológico e econômico” [...] “balanços de massa, custos de matérias-primas e propriedades qualitativas (toxicologia, inflamabilidade, etc.) foram considerados no contexto do conceito Química Sustentável” (EISSEN, 2012, p. 109). Diante dessas perspectivas, o autor projeta novos currículos voltados à sustentabilidade, a partir de uma cultura da Química Verde.

Outro exemplo dessa categoria é o trabalho de Marteel-Parrish (2014), no qual ela propõe um desenho didático de um curso desenvolvido para alunos e estudantes de química e biologia. O curso foi organizado em sete seções e, segundo a autora, “foi elaborado com base nos 12 princípios de Química Verde e suas aplicações”. No entanto, para modelos didáticos que tem a Química Verde como caminho para abordagens sustentáveis, a finalidade desses princípios deve ir além das preocupações com os riscos de toxicidade química, e, além disso, ela deve incluir conservação de energia, redução de resíduos, uso de matérias-primas mais sustentáveis ou renováveis e o design, ciclo e disposição final do produto.

Essa categoria caracteriza os primeiros passos para se pensar e propor modelos para abordar a EQVS em vista da Educação para o Desenvolvimento Sustentável, no entanto, para o enfrentamento das complexas relações, quando pensamos em ambiente, sociedade, educação e modos de produção e reprodução da vida, é necessário modelos mais holísticos.

A categoria **integração** envolve modelos de aprendizagem que integram a Química Verde e a Química Sustentável, em vista da Educação para o Desenvolvimento Sustentável. Essa categoria totaliza 40% das publicações, compreendendo, principalmente, as áreas de currículo e multidisciplinar, correspondendo, especialmente, a desenhos didáticos⁸ e perspectivas teóricas⁹.

⁹ **Perspectivas teóricas** incluem artigos que discutem a importância de conceitos de química verde e sustentável no currículo, que analisam avanços dessa temática dentro de universidades ou que sugerem a implementação desses conceitos.

Dentre os desenhos didáticos⁸ analisados, destacamos aqueles com uma abordagem interdisciplinar (KOLOPAJLO, 2017; FLYNN et al., 2019; BOULDIN; FOLCHMAN-WAGNER, 2019); aprendizagem prática baseada em investigação e descoberta (DIVYA; RAJ; 2019); utilizam metodologias de ensino, como estudos de caso, (HAACK et al., 2013; ZUIN et al., 2019); e Aprendizagem Baseada em Problema (ABP) (CUMMINGS, 2013).

Nessas propostas, a organização do ensino e aprendizagem são adequados para a implementação de questões sociocientíficas¹⁰ (QSC) relacionadas à EDS, no ensino de química, promovendo a formação de químicos engenheiros e demais ofícios relacionados às ciências fundamentais por trás de produtos mais seguros. Além de promover a formação de cidadãos que estejam mais bem posicionados para interpretar e enfrentar desafios globais complexos.

Dentre as perspectivas teóricas⁹ para essa categoria, a maioria é orientada para o ensino superior (71%) e as demais, para o ensino médio e fundamental (29%). Essas perspectivas são propostas curriculares internacionais sobre educação em Química Verde e sustentável, que promovem a inclusão de paradigmas mais globais, envolvendo aspectos econômicos, ambientais, políticos e sociais como questões fundamentais nas discussões técnicas e científicas, bem como o desenvolvimento de experiências de laboratório que introduzem tópicos de sustentabilidade.

Portanto, as implicações da química, na educação, estão na abordagem dos desafios e oportunidades globais da sociedade moderna, para garantir que possamos alcançar um futuro verde e sustentável.

3.4 CONSIDERAÇÕES

A Educação em Química Verde e Sustentável (EQVS) representa um verdadeiro desafio global e requer a participação de diferentes atores. A inserção da QVS nas diferentes áreas e níveis de ensino tem sido acompanhada por uma ausência de compreensão conceitual clara

¹⁰ “Questões sociocientíficas são problemas ou situações geralmente complexos e controversos, que podem ser utilizados em uma educação científica contextualizadora, por permitir uma abordagem de conteúdos inter ou multidisciplinares, sendo os conhecimentos científicos fundamentais para a compreensão e a busca de soluções para estes problemas” (CONRADO, D.M.; NUNES-NETO, 2018, p.87).

sobre o que é a Química Verde e a Química Sustentável e como ambas se integram para atender aspectos econômicos, ambientais, políticos e sociais como questões fundamentais.

Para facilitar a incorporação dos princípios de sustentabilidade e Química Verde no currículo de química, nos diferentes níveis de ensino, é necessária uma compreensão conceitual que permita às pessoas terem clareza sobre o alinhamento e o foco de cada conceito e como eles se integram, para que possa ocorrer uma mudança do *status* da química tradicional, em vista de uma sociedade e uma civilização sustentável.

Portanto, desenvolver a Educação Química alinhada à Química Verde e Sustentável colabora para interconexões mais amplas da química com outros campos de estudo e com questões sociais, estabelecendo uma educação que estimule os estudantes a superar os obstáculos de conteúdos disciplinares, para obter uma visão mais holística da química e sua conexão integral com o ambiente e os sistemas sociais.

4 A EXPERIMENTAÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA: pontos e contrapontos para uma abordagem experimental formativa, verde e sustentável no Ensino Superior

A experimentação é um componente importante da educação científica, desde a Educação Básica ao Ensino Superior, por enriquecer a formação de conceitos científicos, fomentar a investigação, o desenvolvimento intelectual, as habilidades de resolução de questões sociocientíficas e as habilidades manipulativas.

Contudo, há uma tendência histórica que insiste em considerar a investigação científica experimental uma ciência puramente prática, negando quaisquer relações com os determinantes teóricos e socioculturais que estão intrinsecamente implicados nas práticas laboratoriais. Essa visão tem reflexo direto na maneira como se desenvolvem os trabalhos em laboratórios de Química, dando-se ênfase aos laboratórios de ensino em instituições de Ensino Superior, os quais parecem seguir a ideia de que os experimentos são absolutos, ou seja, seus conteúdos são regidos por uma lógica própria e sem relação alguma com as estruturas sociais que, na verdade, os originaram (ZUIN, 2012).

As abordagens das práticas experimentais afetam, diretamente, o ambiente de aprendizagem de maneiras distintas. Entender melhor a eficácia de cada abordagem é ir além da comparação do resultado geral da aprendizagem e do desempenho do aluno, ou seja, se refere a identificar qual abordagem melhor promove habilidades de raciocínio científico, cognição de ordem superior, habilidades de manipulação de laboratório, melhor atitude em relação à ciência e uma melhor compreensão da natureza da ciência (DOMIN, 1999a; 2009).

Essa seção pretende promover uma análise sobre as abordagens experimentais existentes e como elas estão sendo desenvolvidas nos laboratórios de ensino, tendo em vista uma Educação Química voltada para a sustentabilidade crítica.

4.1 AS DIFERENTES ABORDAGENS EXPERIMENTAIS NA EDUCAÇÃO QUÍMICA

Ao longo da história, podemos destacar três estilos de abordagens experimentais (PAVELICH; ABRAHAM, 1979; SALINAS DE SANDOVAL; COLOMBO DE CUDMANI, 1992; HODSON, 1994; 1996; DOMIN, 1999a; 2009; ALVES FILHO, 2000): abordagem expositiva, abordagem baseada em problemas e abordagem de investigação. Esses estilos de

práticas experimentais se diferenciam com base em três descritores: resultado, abordagem e procedimento.

No que se refere ao resultado, as práticas experimentais podem ser do tipo **predeterminado** ou **indeterminado**. Práticas expositivas e baseadas em problemas têm resultados predeterminados, ou seja, os resultados já estão estabelecidos ou estipulados. Para práticas expositivas, os alunos e os professores estão cientes do resultado esperado. Para práticas baseadas em problemas, geralmente, é apenas o professor que conhece o resultado esperado. Enquanto os do tipo indeterminado os resultados e conclusões estão abertos à investigação.

Sobre a abordagem, podem ser **dedutivas** ou **indutivas**. As práticas experimentais expositivas, e baseadas em problemas, seguem uma abordagem dedutiva para obter uma conclusão a respeito de um determinado assunto, fazendo com que os alunos apliquem um princípio geral para entender um fenômeno específico. Já a experimentação investigativa é indutiva, pois busca determinar a regra a partir de diversos exemplos. O aprendizado indutivo enfatiza tanto o valor do aprendizado por experiência direta, quanto o valor motivacional de “descobrir por si mesmo”. As atividades indutivas são elogiadas por levarem o ensino à fronteira da ciência e ilustrarem os seus métodos.

Em relação ao procedimento, ele pode ser **fechado** ou **aberto**. Nas práticas expositivas o procedimento é fechado, ou seja, é elaborado pelo professor e fornecido aos estudantes. Em experimentos de resolução de problemas o procedimento é aberto, ou seja, o procedimento é planejado pelos estudantes. Os experimentos investigativos podem ser fechados (investigativo-guiado) ou abertos (investigativo-aberto) e os descritores podem ser observados, resumidamente, na Tabela 1:

Tabela 1 – Abordagens de instruções em laboratórios didáticos.

	Descritores		
	Abordagem	Procedimento	Resultado
Expositivo	Dedutiva	Fechado	Predeterminado
Baseado em Problema	Dedutiva	Aberto	Predeterminado
Investigativo	Indutiva	Fechado/Aberto	Indeterminado

Fonte: Adaptada de Domin (1999a) (2009).

Tomando como referência os descritores apresentados, discutiremos, a seguir, detalhadamente, cada abordagem.

4.1.1 Abordagem expositiva

Na abordagem expositiva, também denominada tradicional ou de verificação, a liberdade de ação do aluno é bastante limitada, assim como seu poder de decisão (PAVELICH; ABRAHAM, 1979; SALINAS DE SANDOVAL; COLOMBO DE CUDMANI, 1992; ALVES FILHO, 2000; SILVA; MACHADO; TUNES, 2019), pois, nessa abordagem, é o professor que define os tópicos a serem investigados, relaciona a investigação aos trabalhos anteriores e direciona as ações dos alunos.

Em relação aos níveis de abertura, os quais se refere à proporção em que o docente: (a) facilita o problema, (b) as maneiras e meios para resolver esse problema e (c) a resposta a esse problema, pois se proporciona todos os procedimentos aos estudantes (JIMÉNEZ VALVERDE; LLOBERA JIMÉNEZ; LLITJÓS VIZA, 2006) são caracterizadas como fechadas, pois se proporciona todos os procedimentos aos estudantes.

As práticas experimentais na abordagem expositiva são consideradas fechadas, pois é fornecido aos estudantes: o problema; as maneiras e meios para resolver esse problema; e a resposta a esse problema, pois se proporciona todos os procedimentos aos estudantes (JIMÉNEZ VALVERDE; LLOBERA JIMÉNEZ; LLITJÓS VIZA, 2006).

De acordo com Domin (1999a), o procedimento que os alunos seguem é bem estabelecido para que possam experimentar o resultado predeterminado que já é conhecido por eles e pelo instrutor. Esse contexto reflete em uma característica predominante da lição expositiva, devido a sua natureza do tipo “livro de receitas”, em que os estudantes repetem as instruções solicitadas pelo professor. Assim, reduz-se a quantidade de tempo necessária para

concluir uma atividade de laboratório, fornecendo uma via instrucional que não requer a utilização de habilidades de pensamento de ordem superior, levando os alunos a operarem, predominantemente, nos três níveis mais baixos da taxonomia de Bloom, a saber: conhecimento, compreensão e aplicação (DOMIN, 2009).

Devido às restrições estabelecidas no roteiro e à impossibilidade de modificar a montagem, os experimentos que se estruturam como expositivos reduzem o tempo de reflexão do aluno, assim como a decisão a ser tomada sobre a próxima ação ou passo experimental (ALVES FILHO, 2000).

A falta de atenção dada ao planejamento da investigação, ou à interpretação do resultado encontrado, tem sido criticada por dar pouca ênfase na construção do saber científico. Nas instruções laboratoriais tradicionais os alunos passam mais tempo determinando se obtiveram os resultados corretos do que pensando no planejamento e organização da atividade experimental. Ou seja, os alunos não pensam sobre os princípios científicos aplicados no laboratório (HODSON, 1994).

Ao relacionar as fases das ciências – ciência normal, descoberta e validação – descritas por Kuhn (1998), aos estilos de laboratórios que fazem parte da ciência (DOMIN, 2009), a abordagem expositiva colabora no estabelecimento do conhecimento científico, pois de acordo com o autor, o estabelecimento, ou não, do conhecimento científico depende, quase exclusivamente, da capacidade de outros para reproduzir o trabalho.

Contudo, a utilização dessa abordagem, considerando os aspectos apresentados por Kuhn (1998), orienta os alunos a validarem as alegações de conhecimento de seus colegas, tentando replicar um procedimento gerado, que deve ser realizado por meio de uma atividade baseada em problemas ou em investigação.

4.1.2 Abordagem baseada em problemas

A aprendizagem baseada em problemas ganhou audiência nos estilos de ensino em laboratório vinculada, principalmente, ao treinamento de uma futura profissão por permitir ampla liberdade de ação por parte do estudante (DOMIN, 1999a; ALVES FILHO, 2000). Nessa abordagem, o professor estará à disposição para responder perguntas e ajudar os alunos a superar quaisquer obstáculos que possam encontrar. O docente adota um papel mais ativo,

sugerindo perguntas ou problemas aos alunos, fornecendo os materiais necessários e movendo-os, cuidadosamente, para uma solução bem-sucedida ao problema.

O aluno também precisa de oportunidades para planejar seus próprios procedimentos, para que os desafios que possam ser dados a ele, que inicia sua própria investigação, sejam adequadamente satisfeitos. De acordo com Alves Filho (2000), é necessário que os alunos tenham domínio sobre o conteúdo, planejamento e técnicas laboratoriais a serem abordados no experimento.

A abordagem baseada em problemas é caracterizada como aberta (JIMÉNEZ VALVERDE; LLOBERA JIMÉNEZ; LLITJÓS VIZA, 2006), uma vez que são os estudantes que desenvolvem seus próprios procedimentos orientados pelo professor que proporciona lista de materiais a serem utilizados na proposta experimental. Nesse nível, as perguntas ou conclusões acerca do problema são abertas.

De acordo com Domin (1999a), os estudantes que trabalham em um ambiente baseado em problemas devem aplicar sua respectiva compreensão sobre um determinado conceito para criar um caminho de solução. Isso exige que os discentes pensem no que estão fazendo e o porquê estão fazendo-o. Esse tipo de prática possibilita o uso de processos cognitivos de alta ordem, de acordo com a taxonomia de Bloom, conferindo aos estudantes uma responsabilidade muito maior ao decidir sobre o procedimento apropriado.

A conclusão bem-sucedida de uma atividade baseada em problemas indica uma compreensão do conceito (DOMIN, 1999a). No entanto, Kuhn (1998) chama atenção para a falha na obtenção das soluções nesse tipo de prática experimental. Para o respectivo autor, a abordagem baseada em problemas é paralela à ciência normal, ou seja, opera, principalmente, através de conceitos definidos e do raciocínio dedutivo para alcançar um resultado esperado. Logo, muitas vezes, é considerado que a falha em alcançar uma solução reflete na capacidade do aluno (ou nas limitações do equipamento), não nos conceitos e princípios orientadores (DOMIN, 2009).

Em processos educativos é importante destacar o papel do erro no progresso da ciência (BACHELARD, 2005). A falha em experimentos didáticos, principalmente em procedimentos

abertos, viabiliza reflexões racionalizadas sobre o problema, o modelo representativo desse problema e as soluções encontradas.

4.1.3 Abordagem de investigação

De acordo com a literatura, a abordagem didática de investigação favorece uma melhor aprendizagem e atitude dos alunos, em relação à pesquisa científica, além disso, permite que eles associem conceitos teóricos, mais claramente, a dados empíricos, pois exige que formulem o problema; relacionem a investigação com o trabalho anterior; declarem o objetivo da investigação; prevejam o resultado e estabeleçam suas próprias conclusões; identifiquem o procedimento e realizem a investigação (DOMIN, 1999a; 199b).

Essas descrições também caracterizam a respectiva abordagem em nível de abertura de uma atividade prática muito aberta (JIMÉNEZ VALVERDE; LLOBERA JIMÉNEZ; LLITJÓ VIZA, 2006). Em termos de níveis de abertura, a abordagem investigativa pode, ainda, ser subdividida em investigativa-aberta e investigativa-guiada (PAVELICH; ABRAHAM, 1979; SILVA; MACHADO; TUNES, 2019). Na primeira, nenhum procedimento ou instrução é fornecido aos estudantes e, na segunda, alguns procedimentos ou instruções são fornecidos aos estudantes.

Independentemente de serem abertas ou guiadas, as práticas experimentais do tipo investigativa possibilitam que os estudantes sejam mais ativos no processo de aprendizagem, pois requer deles muito mais atenção e esforço, são menos direcionadas e conferem, aos alunos, uma responsabilidade muito maior ao decidirem sobre o procedimento apropriado. Essa abordagem tem como objetivo possibilitar aos estudantes o direcionamento da sua própria aprendizagem, isso enquanto exploram os conceitos científicos envolvidos em situações complexas.

A construção da abordagem investigativa inclui: hipotetizar; explicar; criticar; analisar; julgar; evidenciar; inventar e avaliar argumentos (HODSON, 1996). É um processo indutivo que leva à construção de um novo entendimento que pode ser generalizado. No laboratório de ensino, tudo o que podemos esperar é que os alunos experimentem um fenômeno novo para eles e utilizem as mesmas habilidades de raciocínio indutivo que “Cientistas de verdade” quando conceituam e generalizam suas novas descobertas (DOMIN, 2009). Se realizada corretamente, a atividade laboratorial, baseada em investigação, oferece aos alunos a

oportunidade de se envolverem em processos investigativos autênticos e a desenvolverem pensamentos de ordem superior (DOMIN, 1999b).

De acordo com Domin (1999a), os estudantes, que participam de uma atividade de aprendizagem baseada em investigação, não apenas se envolvem em um processo de aprendizado dos mesmos conceitos e princípios que o cientista aprendeu como aluno, mas também estão aprendendo os processos e métodos da ciência. Assim, os estudantes, de tal modo como os cientistas, quando fazem perguntas sobre o mundo real e investigam fenômenos, possibilitam a construção do conhecimento científico e desenvolvem uma rica compreensão de conceitos, princípios, modelos e teorias.

Embora a pesquisa mostre que a instrução, baseada na investigação, é extremamente benéfica na promoção de atitudes positivas em relação ao conhecimento científico e no fomento do pensamento crítico, ela não foi adotada extensivamente por alguns motivos: acreditar que as atividades investigativas assumiram o pensamento operacional formal, ao invés de tentar desenvolvê-lo; impor demandas à memória de curto prazo dos alunos, exigindo que os estudantes atendam, simultaneamente, à ampliação dos novos conceitos, equipamentos laboratoriais, muitas vezes desconhecidos, e novas tarefas de solução de problemas; outras críticas incluem colocar ênfase no processo científico, e não o suficiente, no conteúdo científico (SALINAS DE SANDOVAL; COLOMBO DE CUDMANI, 1992; HODSON, 1993; DOMIN, 1999a).

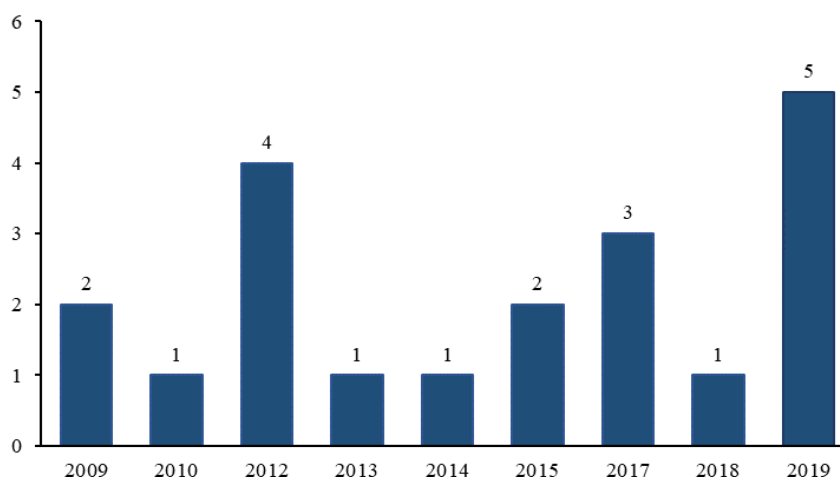
Em concepções mais contemporâneas, as práticas experimentais, em uma abordagem investigativa, tomam o ensinar e o aprender como processos indissociáveis, permitindo a abordagem contextual e interdisciplinar do conceito, além da inserção dos aspectos socioambientais como decorrentes dos contextos escolhidos (CARVALHO, 2013; SANTOS; MALDANER, 2010; ZUIN et al., 2019). Portanto, esse tipo de abordagem possibilita a formação dos estudantes para uma atuação profissional futura questionadora e reflexiva, concebida por um tratamento científico, autodirigido e realimentado, coletivamente, dos problemas sociocientíficos que se enfrenta.

4.2 EXPERIMENTAÇÃO NA EDUCAÇÃO EM QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL: Transitando entre o slogan e a incorporação nos laboratórios de ensino superior¹¹

A Química Verde e Sustentável tem sido reconhecida como parte central de práticas mais ecológicas quando se pensa no design, desenvolvimento e implementação de produtos e processos químicos. Sua abordagem nos laboratórios de ensino e, conseqüentemente, sua compreensão pelos pesquisadores e profissionais da área, nos permite verificar, sob uma ótica educacional, a profundidade com a qual a QVS é inserida na Educação Química e nas práticas experimentais desenvolvidas nos laboratórios de ensino para que não se converta em um slogan.

A necessidade de integrar e desenvolver práticas laboratoriais orientadas para uma Educação em Química Verde e Sustentável teve início, apenas, no ano de 2009 com trabalhos na área da Química Orgânica e Química Geral, sem um crescimento significativo no decorrer dos anos, como podemos observar no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Distribuição das publicações em Experimentação na Educação em Química Verde e Sustentável por ano.

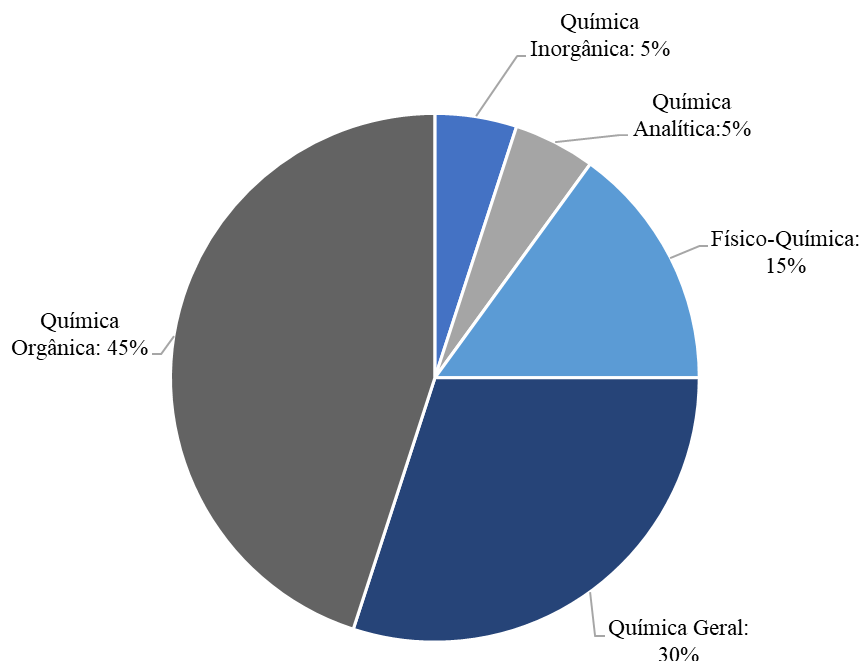


Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

¹¹ Para essa análise foi realizado um levantamento a partir de publicações nas bases de dados *Web of Science*, *Education Resources Information Center* (ERIC) e *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) por meio de buscas avançadas por “Green Chemistry” “Sustainable Chemistry” “Experiments” “Experimentation” “Education”. Foram obtidas vinte entradas para as buscas avançadas realizadas. A sistematização foi realizada através do programa Microsoft Excel 2019 e a compreensão das características que envolvem a incorporação da Química Verde e Sustentável (QVS) na Educação Química foi orientada pelos princípios da análise de conteúdo (BARDIN, 2002) por permitir uma interpretação das informações de forma explícita e sistemática.

Contudo, a Experimentação na Educação em Química Verde e Sustentável tem sido incorporada às diferentes áreas de concentração da química, como disposto no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Distribuição das publicações em Experimentação na Educação em Química Verde e Sustentável por subárea¹²



Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

A abordagem da Química Orgânica, nas práticas laboratoriais verdes e sustentáveis no Ensino Superior está relacionada, principalmente, a atenção dada a essa área, desde a criação dos princípios da Química Verde, quando se pensa em “Reações com compostos de menor toxicidade” (princípio 4), no sentido de projetar reações que usem ou gerem substâncias que não ofereçam riscos à saúde e ao ambiente, por exemplo. Além dos princípios de prevenção e economia de átomos, que requerem uma mudança de paradigma no conceito de eficiência na síntese orgânica, o primeiro atribui valor à minimização de resíduos e o segundo é focado no rendimento químico. A ampliação na aplicação de práticas mais ecológicas permitiu a expansão da utilização dos princípios e métricas verdes e sustentáveis para outras áreas de concentração

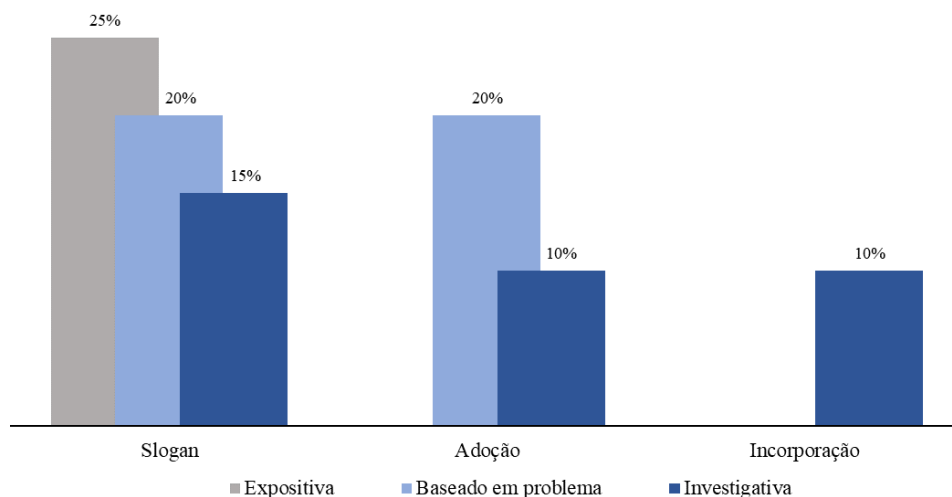
¹² As subáreas foram determinadas a partir da Tabela das Áreas de Conhecimento (CAPES) para a área do conhecimento Química (10600000).

da química necessárias para o alicerce do conhecimento químico, em vista ao benefício das pessoas, do planeta e da economia.

No entanto, para que a experimentação desempenhe seu papel na Educação Química, é importante, não apenas a incorporação dos princípios da QVS, mas a possibilidade da adoção de abordagens metodológicas que impulsionam o conhecimento químico para a reflexão social sobre a sua aplicação prática, de forma a possibilitar o desenvolvimento de letramento científico.

Apesar de todo esforço para a compreensão e inserção conceitual da Química Verde e Sustentável, em processos de formação profissional, há um alerta para o risco deste conceito se metamorfosear em um slogan (STEINHÄUSER et al., 2004; ZUIN, 2013), ou seja, ser reduzido apenas à promoção de alternativas de práticas menos perigosas de se realizarem os mesmos processos, não estimulando discussão, reflexão e posicionamento crítico sobre a sua filosofia e seus princípios.

Diante desse cenário, as práticas experimentais foram analisadas e classificadas, de acordo com sua abordagem experimental, e de como são orientadas para a Educação em Química Verde e Sustentável, como podemos observar no Gráfico 7. Permitindo o estabelecimento das categorias: **slogan**, que resulta de uma compreensão vaga e insuficiente dos aspectos educacionais que integram a EQVS, com foco no aprendizado do conteúdo químico e foco nos princípios da Química Verde; **aplicação**, que envolve estratégias sustentáveis no design e execução do experimento, além de compreender a interação entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente como parte do conteúdo; **incorporação**, que parte de questões sociocientíficas, incluindo o conhecimento químico para a reflexão social sobre sua aplicação prática, além de ter a interdisciplinaridade como característica.

Gráfico 7 – Abordagens Experimentais e Modelos de Educação em Química Verde e Sustentável.

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

A categoria **slogan**, como modelo para Educação em Química Verde e Sustentável, foi identificada, principalmente, na abordagem expositiva (25%) e na maioria dos trabalhos da área da química orgânica, com foco no aprendizado do conteúdo químico e nos princípios da Química Verde.

Esses aspectos podem ser identificados no trabalho de Ballard (2010), principalmente, a ênfase dada ao uso de solventes mais seguros, como o uso da água sanitária em contraposição a outros oxidantes e agentes halogenantes. Assim como a centralidade do experimento em aspectos técnicos e conceituais: “(i) usar instrumentos recém-adquiridos, um RMN e GC-MS, para caracterizar os produtos da reação; (ii) fornecer ilustrações de conceitos-chave, como seletividade; (iii) permitir discussões de mecanismos de reação; e (iv) demonstrar princípios da Química Verde.” (BALLARD, 2010 p. 190). No entanto, a abordagem da Química Verde e Sustentável nos laboratórios de ensino deve transpassar seus princípios técnicos para se enfrentar as complexas relações quando pensamos em ambiente, sociedade educação.

As abordagens baseadas em problema (20%) e investigativa (15%), apesar de possuírem aspectos que permitem uma atuação mais autônoma em execução e pensamento, acerca da prática experimental, se categorizaram como **slogan** por, além da centralidade nos princípios da Química Verde e no conceito químico, a natureza do problema experimental apresentava,

apenas, exemplos cotidianos ou industriais de aplicação do conceito abordado, o que não impulsiona uma Educação Química para o Desenvolvimento Sustentável.

Esses aspectos podem ser observados no trabalho de Reiznautt e colaboradores (2013), quando apresentam, na primeira etapa, como forma de introduzir e motivar ao experimento investigativo “aspectos básicos envolvidos no processo de obtenção do biodiesel, tais como reagentes, produtos e subprodutos, tipos de contaminantes presentes, necessidade de separação de fases, entre outros.” (REIZNAUTT et al., 2013 p. 1449). O trabalho de McAllister e Parsons (2019), esse que propõe uma abordagem baseada em problema “centrado na síntese do medicamento anti-úlcerasomeprazol (Nexium)” (MCALLISTER; PARSONS, 2019 p. 2617) e que tinha como principais objetivos de aprendizagem “Saber como modificar uma reação afeta suas métricas de Química Verde; e Aplicação do conhecimento da Química Verde a uma nova situação” (MCALLISTER; PARSONS, 2019 p. 2618), também retratam esse **slogan**.

O **slogan**, acerca da compreensão da Química Verde e Sustentável nos laboratórios de ensino, também tem se estampado, por muitas vezes, na promoção de alternativas menos perigosas de fazer os mesmos processos, principalmente, quando é atribuído por pesquisadores em seus trabalhos o uso de materiais/substâncias naturais, em substituição a reagentes convencionais, como no trabalho de Cunha e Matos (2017), em que utilizaram a cachaça como solvente para síntese orgânica e extração de pigmento e no trabalho de Hartwell (2012), que investigou a composição química das folhas para uso de extratos vegetais como reagentes para análises químicas. A mudança do solvente, nesses experimentos, faz parte do que Kuhn (1998) discute acerca da abordagem dedutiva na experimentação expositiva.

Portanto, pelo fato da maioria dos trabalhos analisados se categorizarem como **slogan** (60%), centrados na aplicação conceitual e na reprodução e modificações de procedimentos mais ecológicos, nos causa preocupação sobre como a Química Verde e Sustentável está sendo discutida e abordada nas práticas experimentais desenvolvidas para Educação Química nos diferentes níveis de ensino.

A categoria **aplicação**, essa que toma as questões de sustentabilidade como parte do conteúdo, é evidenciada, apenas, nas abordagens: baseada em problema (20%) e investigativa (10%), por ter abertura em sua organização e desenvolvimento para situar e relacionar os

conhecimentos específicos aos conhecimentos de outras áreas, permitindo a interação entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

Karpudewan e colaboradores (2009) ao introduzirem experimentos de Química Verde, fornecendo conceitos de Desenvolvimento Sustentável e conceitos ambientais tradicionais, em uma abordagem investigativa, “permitiu que os alunos refletissem sobre a prevenção da poluição nos contextos local e global, por meio de discussões que relacionam as dimensões social, econômica e ambiental” (KARPUDEWAN; ISMAIL, MOHAMED, 2009 p.129).

Exemplos dessa categoria também podem ser identificados no trabalho de Overton e Randlesb (2015) a partir dos quatro cenários diferentes de PBL, os quais “exigiam que os alunos considerassem a geração e o uso de energia, custos de energia, rotas sintéticas, cadeia de suprimentos, gerenciamento de resíduos e reciclagem” (OVERTON; RANDELSB, 2015 p. 257). Assim como no trabalho de Hwang e colaboradores (2016), ao demonstrarem o conceito de biorrefinarias, os quais tinham foco no “(1) uso de material de partida derivado de recursos naturais; (2) utilização de métodos e vias verdes para sintetizar moléculas anfifílicas; e (3) os anfifílicos sintetizados para criar um material funcional” (HWANG et al., 2016, p. 1566), refletindo na adoção de estratégias de sustentabilidade como conteúdo na Educação Química através da dinâmica do ensino baseado em problema.

As práticas categorizadas como adoção enfatizam a importância, e a necessidade, de adotar abordagens sustentáveis e ambientalmente amigáveis no laboratório para que se possa conectar os estudantes às questões científicas relevantes e suas relações tecnológicas, sociais e ambientais.

Na categoria **incorporação**, as questões sociocientíficas impulsionam a Educação Química a uma aprendizagem para o “saber-ação”, o que delimita que não apenas abordagens experimentais, com níveis mais altos de aberturas, sejam utilizadas, mas que a natureza do problema experimental seja estruturada como situações-problemas.

A proposta experimental de Galgano e colaboradores (2012) apresenta, como questão sociocientífica, a adulteração de combustível como problema socioeconômico e ambiental em potencial, incluindo o conhecimento de espectroscopia UV-vis para a determinação da composição de misturas de combustível. Observamos também uma abordagem investigativa-

aberta, pois, de acordo com os autores, “pedimos que desenvolvessem um experimento UV-vis para a determinação da composição das misturas de combustível” (GALGANO et al., 2012 p.149) e após os testes dos diferentes procedimentos “os grupos relataram seus resultados em um seminário. Eles trocaram seus dados experimentais para construir uma curva de calibração analítica completa” (cada grupo mediu metade das amostras) e determinou a composição de uma amostra desconhecida.” (GALGANO et al., 2012 p.150). De acordo com os estudantes que participaram dessa prática, “Eles apontaram que essa abordagem é desafiadora porque não foram instruídos sobre como proceder; eles tinham que descobrir.” (GALGANO et al., 2012 p.151).

Outro exemplo dessa categoria é a proposta experimental desenvolvida por Zuin e colaboradores (2019), através de um “estudo de caso, baseado em biorrefinarias cítricas e economia biocircular” (ZUIN et al., 2019 p. 2978) que trata de um problema local de impacto global. Em relação à abordagem experimental, essa proposta se caracteriza como investigativa-guiada “no qual o problema e as instruções técnicas foram organizados pelo professor” (ZUIN et al, 2019 p. 2978). De acordo com os autores, a proposta “introduz domínios atitudinais, a fim de garantir um processo de aprendizagem emancipatório, e envolve o uso de um contexto social relevante (ou seja, economia biocircular) com o qual os alunos possam se relacionar e aprender” (ZUIN et al., 2019 p. 2979), o que favorece a inclusão do conhecimento químico para a reflexão social sobre a aplicação prática.

As práticas experimentais categorizadas como integração não têm números expressivos, correspondendo, apenas, a 10% de todos os trabalhos analisados. Dessa forma, consideramos, em um panorama geral, que há apenas um “esverdeamento” das práticas desenvolvidas nos laboratórios de ensino.

Esse simples “esverdeamento” não concebe por si só uma formação que ofereça formas de modificar o atual modelo para o enfrentamento da crise ambiental contemporânea – sendo esse ambiente, um espaço físico e social – de forma efetiva e com o aporte de ferramentas exclusivamente tecnocientíficas. Vale ressaltar que é necessário, além de um processo de revisão curricular, a reformulação dos temas, enfoques e metodologias mais diretamente ligados aos aspectos tecnocientíficos (WARE, 2001a; 2001b).

As práticas experimentais analisadas mostram que ainda existe um trajeto de evolução para a inserção da Química Verde e Sustentável (QVS) na Educação Química, principalmente, no que se refere a experimentação em laboratórios de ensino, especialmente, quanto às abordagens e princípios norteadores intimamente relacionados com a educação. Para a expansão dessa categoria é necessário que disciplinas experimentais estejam alinhadas à filosofia e aos princípios da Química Verde e Sustentável.

4.3 CONSIDERAÇÕES

As práticas experimentais analisadas têm sido orientadas, em sua maioria, por uma compreensão mais técnica da Química Verde e Sustentável direcionada, principalmente, à utilização dos Princípios da Química Verde. O reflexo desse cenário sinaliza a existência de um trajeto de evolução na compreensão de como a Química Verde e Sustentável deve ser inserida e sobre as abordagens experimentais, essas que norteiam a estruturação e o desenvolvimento da experimentação em laboratórios de ensino.

Ao integrar a Química Verde e Sustentável a abordagens investigativas, se estabelece uma orientação ao desenvolvimento de práticas experimentais que colabora com a ruptura do “esverdeamento” dos experimentos desenvolvidos nos laboratórios de ensino e com a construção de experiências formativas acerca da Educação Química.

Diante dessa ressignificação, a experimentação se apresenta como uma ferramenta didática que traduz os problemas cotidianos em uma linguagem científica, permitindo a apropriação subjetiva e formação de consciência crítica.

5 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Em função da natureza do objeto de estudo a pesquisa foi de natureza qualitativa, visto que essa apresenta uma especial relevância para a análise contemporânea na área de Educação, permitindo um trabalho direto no campo e material de pesquisa (FLICK, 2009).

A abordagem qualitativa se configurou, nessa pesquisa, pela fonte direta dos dados ser em uma IES Federal Paulista; os dados coletados serem, predominantemente, descritivos a partir de entrevistas e observações; pela pesquisa estar preocupada com o processo de desenvolvimento da proposta de prática experimental investigativa, verde e sustentável, tendo a perspectiva dos sujeitos acerca da prática experimental como foco de atenção e análise e pela análise dos dados ter seguido um processo indutivo, apoiado pela análise textual discursiva, a qual proporcionou, a partir de suas etapas, a análise das implicações da questão em estudo (BOGDAN; BIKLEN, 1982; LUDKE E ANDRÉ, 1986).

Entre as várias formas que podem assumir a pesquisa qualitativa, se destaca o estudo de caso devido, principalmente, ao seu potencial para estudar as questões relacionadas à prática educativa, permitindo uma representação singular do objeto em sua realidade multidimensional e historicamente situado (LUDKE E ANDRÉ, 1986; FLICK, 2009).

5.1 ESTUDO DE CASO

Diante da abordagem qualitativa, a pesquisa se apoiou na metodologia do estudo de caso, a qual trata-se de uma análise sistemática de um contexto específico que possibilita a compreensão e geração de conhecimentos mais concretos acerca de um objeto singular, nos permitindo compreender como as práticas experimentais, que se estruturam a partir de abordagens investigativas e são orientadas pelos pressupostos da Química Verde e Sustentável, possibilitam a construção de uma formação crítica no desenvolvimento da prática laboratorial no curso de Licenciatura em Química, de uma IES Federal Paulista, durante as disciplinas de Química Verde e Experimentação na Educação Química (ANDRÉ, 1984; LUDKE E ANDRÉ, 1986).

De acordo com as características fundamentais do estudo de caso (ANDRÉ, 1984; LUDKE E ANDRÉ, 1986), a proposta buscou à **descoberta**, à medida que buscava a

compreensão da prática experimental formativa, verde e sustentável a partir dos dados coletados e em função deles; **ênfatiçou a “interpretação em contexto”**, uma vez que a pesquisa tinha foco nas disciplinas voltadas ao objeto de estudo, permitindo uma apreensão mais completa do mesmo; **busca retratar a realidade de forma completa e profunda**, a partir das subestruturas científicas, epistemológicas, e pedagógicas, essas que favorecem uma maior compreensão acerca da proposta da prática experimental formativa, verde e sustentável; **usam uma variedade de fontes de informação**, como as bases teóricas das disciplinas, as propostas experimentais elaboradas pelos estudantes, entrevistas e observações que foram utilizados em diferentes momentos e situações no decorrer da pesquisa; **revelam experiência vicária e permitem generalizações**, uma vez que a análise textual discursiva possibilitou uma compreensão da produção de significados para uma nova postura da prática laboratorial no ensino superior, permitindo que as informações, contidas na pesquisa, pudessem ser aplicadas em outras áreas do conhecimento; **procuram representar os diferentes e às vezes conflitantes pontos de vista presentes na situação**, o que nos permitiu, por meio das representações e interpretações dos sujeitos de pesquisa, delinear uma prática experimental investigativa, verde e sustentável ademais, **utilizam uma linguagem e uma forma mais acessível**, ou seja, uma linguagem direta, clara e bem articulada, a qual foi estruturada pelos metatextos produzidos pela análise textual discursiva.

Os resultados gerados pelo estudo de caso, enfatizou um desenvolvimento ideográfico e uma abordagem didática a respeito da prática experimental, isso de forma mais concreta e contextual sobre esse objeto, como também permitiu as generalizações em relação a outros cursos, nos quais apresentem, em suas matrizes curriculares, disciplinas de prática experimental.

5.2 SUJEITOS E O CAMPO DE PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida durante as disciplinas de Química Verde e Experimentação na Educação Química do curso de Licenciatura em Química, de uma IES Federal Paulista. Essas disciplinas ocorreram no formato de Ensino Presencial durante o 2º semestre de 2018 e 1º semestre de 2019 e mantinham o caráter de interdependência.

Enquanto a disciplina de Química Verde buscou introduzir os princípios e fundamentos da Química Verde com ênfase na educação; a disciplina de Experimentação na Educação Química se preocupou na aplicação prática da Química Verde na experimentação, especialmente, para a Educação Básica.

Ambas as disciplinas foram ministradas pela mesma professora, com a qual foi feita, inicialmente, uma reunião para apresentar os interesses formativos no envolvimento da pesquisadora com aquelas disciplinas e delinear as etapas da pesquisa decorrentes das atividades a serem desenvolvidas nas disciplinas.

A inserção ao campo de pesquisa foi possibilitada em decorrência da realização do PESCD¹³ pela pesquisadora. Essa ponte entre o estágio, à docência e a pesquisa facilitaram uma maior aproximação com os estudantes que vieram a participar como sujeitos de pesquisa e uma imersão no objeto de pesquisa. Nesses termos, a pesquisadora tinha dois papéis importantes: o primeiro estava em fortalecer o processo formativo dos estudantes, durante suas vivências nas disciplinas e o segundo no desenvolvimento da pesquisa.

A disciplina de Química Verde, com carga horária total de 60 horas teóricas, foi ministrada no 2º semestre de 2018, com um total de 31 aulas no semestre, com duração média de 2 horas. Dentre seus objetivos, a disciplina propõe-se a: oportunizar o aprendizado dos princípios, fundamentos e aplicações da Química Verde e possibilitar ao estudante planejar, implementar e avaliar um projeto que compreenda os conteúdos voltados à Química Verde, especialmente, em contextos educativos.

Durante essa disciplina, os estudantes realizaram diversas leituras de bibliografia e discussão voltada à Química Verde e propuseram estudos de caso para a Educação Básica. O acompanhamento dessa disciplina permitiu a primeira aproximação com os estudantes e conhecer os aspectos teóricos e didáticos da Química Verde, em processos de ensino e aprendizagem.

A disciplina de Experimentação na Educação Química, com carga horária total de 60 horas, sendo, 30 horas teóricas e 30 horas práticas, foi ministrada no 1º semestre de 2019, com

¹³ O Programa de Estágio Supervisionado de Capacitação Docente (PESCD) tem por objetivo aprimorar a formação de discentes de Pós-Graduação, oferecendo-lhes adequada preparação pedagógica, por meio de estágio supervisionado em atividades didáticas de graduação.

um total de 15 aulas no semestre, com duração média de 4 horas. Os objetivos da disciplina concentravam-se em: proporcionar, ao licenciando, condições para planejar roteiros de atividade experimentais, considerando as mais recentes pesquisas da área de Educação/Ensino de Química e realizar a seleção e o planejamento de experimentos didáticos, considerando os princípios gerais de segurança, bem como a eliminação, minimização e descarte de resíduos (Química Verde).

Devido à maior proximidade e a relação de confiança estabelecida com os licenciandos, durante a disciplina de Química Verde, foi possível realizar as entrevistas com os licenciados após o primeiro dia de aula da disciplina de Experimentação na Educação Química. A realização da entrevista, nesse momento, foi importante para a identificação das concepções iniciais dos estudantes sobre os aspectos que envolvem a experimentação, além de ter sido, também, um meio para identificar os conhecimentos já construídos acerca da Química Verde, esses que seriam importantes no desenvolvimento das práticas experimentais.

No decorrer das aulas, os estudantes também realizaram diversas leituras de bibliografia e discussão, mas agora, sobre a Experimentação para Educação Química, nas quais puderam resgatar os conhecimentos discutidos sobre a Química Verde. Esse momento possibilitou à pesquisadora estabelecer um diálogo inicial entre as relações teóricas da Química Verde e as abordagens experimentais. No decorrer da disciplina, houve a proposição, testes e aplicação das propostas experimentais pelos estudantes e esses foram os momentos que integraram a pesquisa.

Nessa disciplina ocorre a distinção entre os processos de estágio-docência e a consequente pesquisa derivada dele. Enquanto estagiária, houve o acompanhamento das atividades que possibilitaram subsídios para que os licenciandos construíssem suas propostas experimentais para serem trabalhadas na Educação Básica. Enquanto pesquisadora, realizou a coleta de dados para o desenvolvimento da pesquisa. No Apêndice A, trazemos uma descrição da sequência das 15 aulas trabalhadas no período letivo dessa disciplina e as respectivas atividades desenvolvidas, durante o estágio-docência, que integraram as etapas da pesquisa.

Os sujeitos de pesquisa foram os estudantes regularmente matriculados nas duas disciplinas correspondentes ao 2º semestre de 2018 (Química Verde) e 1º semestre de 2019 (Experimentação na Educação Química), totalizando uma amostra de 22 estudantes. O critério

de escolha dos sujeitos deu-se pela sua adesão voluntária ao projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos (CAAE: 899795118.0.0000.5504).

5.3 COLETA DE DADOS

Tomando como referência as técnicas de coleta de dados utilizadas no estudo de caso (ANDRÉ, 1984), os dados verbais foram coletados por meio de entrevista semipadronizada (Apêndice B) (FLICK, 2009; GROEBEN, 1990).

Para o registro das atividades, foi utilizado o método da observação participante, em suas três fases (SPRADLEY, 1980) e para a obtenção de descrições, mais consistentes, utilizou-se protocolos de situação (Apêndice C), os quais se concentraram nos aspectos mais relevantes à questão de pesquisa.

Como instrumento de coleta de dados, também foi entregue aos estudantes um modelo para elaboração de uma proposta experimental (Apêndice D). A preparação desse instrumento de pesquisa considerou os aspectos didáticos/metodológicos da disciplina e os objetivos da pesquisa. A partir dele, os estudantes desenvolveram, com base nas discussões teóricas e práticas experimentais presentes na literatura, uma proposta didática como produto educacional da disciplina de Experimentação na Educação Química.

As bibliografias/referências que fundamentam as disciplinas de Química Verde e Experimentação na Educação Química (Anexo A), também foram analisadas com o intuito de identificar as relações teóricas entre a experimentação, Química Verde e Desenvolvimento Sustentável, que promovam experiências formativas, assim como os textos produzidos pelos estudantes durante as disciplinas foram analisados.

5.4 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

O desenvolvimento da pesquisa se estruturou em quatro etapas, para nos permitir analisar o estabelecimento de uma prática experimental verde e sustentável para o fortalecimento da formação crítica entre os estudantes universitários.

A **primeira etapa** consistiu no acompanhamento das atividades desenvolvidas pelos estudantes – através da observação participante – durante a disciplina de Química Verde e na disciplina de Experimentação na Educação Química, com o objetivo de identificar os aspectos teóricos fundamentais à Química Verde, ao Desenvolvimento Sustentável e à experimentação em processos de ensino e aprendizagem. Essa ação oportunizou o estabelecimento de dimensões norteadoras para elaboração de propostas experimentais mais formativas, verdes e sustentáveis.

A **segunda etapa** teve o objetivo de identificar as concepções dos estudantes sobre os diversos aspectos que envolvem as práticas, consideradas, mais formativas e sustentáveis. Nesse momento, a coleta das concepções dos estudantes foi realizada por meio de uma entrevista semipadronizada (Apêndice B), a qual permitiu realizar uma coleta sistematizada das construções iniciais.

A **terceira etapa** correspondeu à elaboração e aplicação da proposta experimental, isso a partir do modelo proposto (Apêndice D), com o objetivo de analisar o processo de construção da prática experimental pelos estudantes na disciplina. De acordo com o planejamento da disciplina, essa etapa se estruturou em três momentos, com o intuito de levar os estudantes envolvidos a uma reflexão, dentro do espaço e tempo de sua formação.

Inicialmente, ocorreu a seleção de temas e dos experimentos que seriam integrados ao assunto escolhido, dentre os quais: tabela periódica; indicadores; funções inorgânicas e combustíveis (poluição, rendimento/eficiência combustão, fontes de energia alternativas ao petróleo/termoelétricas, lei de conservação de massas e estequiometria). Esses temas foram selecionados considerando os livros aprovados no PNLD¹⁴ e os cadernos do estado de São Paulo¹⁵.

No segundo momento, os estudantes estruturaram os experimentos de acordo com o modelo sugerido para as propostas experimentais na Educação Química. Esse momento envolveu testes no Laboratório de Ensino de Química Orgânica da IES, realizados pelos

¹⁴ Coleção de Química da autora Martha Reis PNLD (2014-2017).

¹⁵ O conteúdo é formulado por especialistas da Coordenadoria de Gestão da Educação Básica (CGEB), dentro das diretrizes do Currículo Oficial do Estado de São Paulo.

estudantes, sob a orientação da Professora da disciplina, o que oportunizou a realização de alguns ajustes no experimento e o fechamento das propostas desenhadas pelos estudantes.

Após a elaboração de uma prática experimental mais investigativa, verde e sustentável, o terceiro momento foi marcado pela aplicação das propostas experimentais para a Educação Básica, que ocorreu em uma Escola Técnica (ETEC) do Estado de São Paulo e no Centro de Divulgação Científica e Cultural da USP (CDCC/USP). Nesse processo, os estudantes foram convidados a vivenciarem o produto educacional elaborado por eles, permitindo, posteriormente, uma reflexão mais crítica e efetiva sobre o trabalho experimental na educação.

A **quarta etapa** da pesquisa buscou, a partir da vivência direta com as condições e variáveis das práticas experimentais desenvolvidas, durante a disciplina, estruturar uma abordagem experimental para uma nova concepção de ciência, conhecimento e prática. Essa abordagem foi denominada como Experimentação Formativa, com o objetivo de oportunizar uma aprendizagem que incluiu a Química para uma reflexão crítica sobre sua aplicação prática.

5.5 ANÁLISE DOS DADOS

A abordagem de análise de dados, utilizada nessa pesquisa, compreendeu a Análise Textual Discursiva (MORAES; GALIAZZI, 2016), a qual transita entre os extremos da análise de conteúdo e a análise de discurso em um movimento interpretativo de caráter hermenêutico, voltada à compreensão da produção de significados sobre os fenômenos investigados.

A análise textual discursiva trata-se de uma ferramenta que oportuniza, nos processos de pesquisa, a construção do novo, a partir de um intenso diálogo teórico-empírico (MORAES; GALIAZZI, 2006). Nesse sentido, essa abordagem de análise de dados possibilitou uma compreensão acerca da experimentação formativa, verde e sustentável para uma nova postura da prática laboratorial no Ensino Superior.

O processo da análise textual discursiva é entendido como um processo auto-organizado, estruturado como um ciclo composto de três momentos: desmontagem dos textos, estabelecimento de relações e captação do novo emergente (MORAES; GALIAZZI, 2016).

Inicia-se em um processo desconstrutivo denominado unitarização. A desmontagem dos textos é mostrada como processo recursivo de mergulho nos significados dos estudados, em que os mesmos, oriundos das entrevistas e observações, assim como das propostas

experimentais, são separados em unidades de significado. Esse momento exigiu que a pesquisadora assumisse suas interpretações, passo inicial da autoria que o investigador assume ao longo da análise (MORAES; GALIAZZI, 2016).

Em seguida, ocorre o processo de aprendizagem e comunicação de novos entendimentos produzidos na análise, a categorização. Nesse processo, passa-se a fazer a articulação de significados semelhantes das unidades de análise definidas no estágio inicial. Moraes e Galiuzzi (2016) afirmam que a categorização constitui o movimento de síntese, de construção de sistemas de categorias, capazes de expressarem as novas aprendizagens e compreensões, construídas no processo da análise.

Por fim, ocorreu o processo da escrita e da organização de metatextos, resultantes do processo analítico. Esse processo, de acordo com Moraes e Galiuzzi (2016), não é um mero expressar de conhecimentos, já perfeitamente constituídos, mas representa, ao mesmo tempo, o momento de concretização de novas aprendizagens. Portanto, os metatextos gerados compõem os textos interpretativos, possibilitando uma compreensão renovada do todo (MORAES, 2003; MORAES; GALIAZZI, 2006).

6 DIMENSÕES DA EXPERIMENTAÇÃO FORMATIVA PARA A EDUCAÇÃO QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL

A crescente complexidade e as consequências imprevisíveis, das inovações tecnocientíficas e da produção, têm apontado a necessidade de formar cidadãos que sejam capazes de entender o mundo e tomar decisões informadas (ZUIN; ZUIN, 2017).

Nesse sentido, não podemos dissociar os princípios que orientam o trabalho científico em Química, com aqueles que orientam a Educação nessa área. A necessidade dessa conexão já tem sido evidenciada como um caminho para visualizar e assegurar que os conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais sejam incorporados ao ensino e ao processo de aprendizagem, isso para que possamos lidar com os crescentes desafios sociocientíficos enfrentados por todas as universidades e outras instituições educacionais em todo o mundo (ZUIN et al., 2019).

As Dimensões da Experimentação Formativa para a Educação Química Verde e Sustentável, como resultado da primeira etapa da pesquisa, foram pensadas e desenhadas para avaliar, de forma integrada, os aspectos verdes dos processos experimentais, quanto aos seus aspectos educacionais, oportunizando, dessa forma, uma Educação em Química orientada para formação crítica, o que permitirá o desenvolvimento da consciência emancipatória, a dinâmica de geração de conhecimento e das influências de contextos sociais nesse processo de construção humana.

Para analisar o estabelecimento do laboratório, como lócus de desenvolvimento de experiências formativas, foram desenhadas oito dimensões, a saber: **Abordagem do Experimento**, com o objetivo de identificar e caracterizar o nível de investigação dos experimentos quanto às responsabilidades na estruturação do problema, procedimento e solução das investigações; **Natureza do Problema**, com o objetivo de identificar como o conhecimento científico é incorporado ao experimento; **Alfabetização e Literacia Científicas**, com o objetivo de analisar como a educação científica está sendo desenvolvida e as habilidades que estão sendo formadas nos estudantes; **Avaliação da Aprendizagem**, com o objetivo de analisar as experiências que os alunos realizaram e os conteúdos de aprendizagem; **Modelos de Aprendizagem ESD**, com o objetivo de analisar se o experimento é impulsionado por questões ambientais e socialmente relevantes; **Design do Experimento**, com o objetivo de uma releitura

dos desenhos experimentais desenvolvidos nos laboratórios de ensino; **Reagentes e Produtos**, com o objetivo de possibilitar uma avaliação sobre os possíveis riscos que essas substâncias podem causar e **Geração de Resíduos**, com o objetivo de reconhecer os problemas relacionados ao tratamento e à disposição final dos resíduos gerados, os quais visam reconfigurar a construção do saber químico em atividades desenvolvidas como práticas experimentais.

Cada dimensão descrita admite três níveis formativos: **Nível Conceitual**, **Nível Contextual** e **Nível Crítico-Reflexivo**, os quais apresentam uma relação dialética dos elementos estruturantes da prática experimental que os caracteriza, permitindo uma análise qualitativa do processo de ensino e aprendizagem desenvolvido.

O **Nível Conceitual** corresponde ao primeiro nível formativo, abrangendo os preceitos que estão centrados no conhecimento sobre o conteúdo substantivo da ciência. Nesse nível, a aprendizagem química é tida como a aquisição e o desenvolvimento de conhecimentos teórico-práticos, em uma perspectiva técnico instrumental.

O segundo nível formativo, **Nível Contextual**, diz respeito ao conhecimento sistêmico da química. Compreende a natureza da ciência, incluindo suas relações científicas, tecnológicas e sociais, ou seja, apresenta a interface e as interações entre a química, à medida que os desenvolvimentos científicos e tecnológicos estão se inter-relacionando com questões sociais. Nesse nível, os elementos estruturantes conectam os conceitos químicos aos contextos cotidianos e às questões científicas, tecnológicas e ambientais contemporâneas, pois inclui elementos que se configuram mais próximos dos aspectos sociais e humanísticos do empreendimento científico.

O **Nível Crítico-Reflexivo** é estabelecido como maior nível formativo, nele caracterizamos uma Educação Química orientada pela formação crítica. Nesse nível, as diferentes dimensões incluem elementos de caráter crítico, visando à reflexão filosófica e à ação sociopolítica, em relação à química. O alcance desse nível pressupõe formar “pessoas que vão lutar pelo que é certo, bom e justo; pessoas que trabalharão para remodelar a sociedade ao longo de linhas mais justas socialmente; pessoas que trabalharão vigorosamente no melhor interesse da biosfera” (HODSON, 2003), pois a estruturação da atividade científica permite, ao estudante, o conhecimento sobre os riscos e benefícios da ciência, além da capacidade de pensar, criticamente, sobre ciência e participação em práticas sociais relevantes.

Portanto, as Dimensões da Experimentação Formativa, e seus respectivos níveis formativos para a Educação Química Verde e Sustentável, são desenhadas para que os professores, estudantes e demais agentes educativos possam avaliar os alcances e limites de atividades experimentais para formação crítica.

6.1 ABORDAGEM DO EXPERIMENTO

A primeira dimensão tem o objetivo de identificar e caracterizar a abordagem dos experimentos, quanto às responsabilidades na organização do problema, procedimento e solução das investigações, possibilitando analisar a habilidade cognitiva de aprendizagem dos estudantes e sua contribuição no processo formativo.

Para esse estudo, estabelecemos três níveis de abordagem baseados nos níveis e estilos de investigação (FAY; BRETZ, 2008; FAY et al., 2007; DOMIN, 1999a, PAVELICH; ABRAHAM, 1979), nos níveis de abertura (JIMÉNEZ VALVERDE; LLOBERA JIMÉNEZ; LLITJÓS VIZA, 2006) e nas habilidades cognitivas do trabalho laboratorial (DOMIN, 1999b), como pode ser observado no Quadro 3:

Quadro 3 – Nível de investigação para uma atividade experimental.

Nível Formativo	Abordagem do Experimento	Descrição	Habilidades cognitivas
1	Expositiva	O problema, o procedimento e os métodos para resolução são fornecidos ao estudante. O estudante verifica os resultados com a teoria previamente discutida.	Conhecimento Compreensão Aplicação
2	Investigativa-guiada	O problema e alguns procedimentos ou instruções são fornecidos ao estudante. O estudante interpreta os dados para propor soluções viáveis.	Aplicação Análise Síntese
3	Investigativa-aberta	O problema é fornecido ao estudante ou um tema é fornecido ao estudante e ele escolhe o problema a explorar. De posse do problema, fornecido ou escolhido, o estudante desenvolve um procedimento para investigar o problema, decide quais dados coletar e interpreta os dados para propor soluções viáveis.	Análise Síntese Avaliação

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

O primeiro nível de abordagem do experimento se caracteriza como uma **prática experimental expositiva**, também denominada de tradicional ou de verificação, que detém a concepção do conhecimento como verdade estabelecida e tem sua base filosófica enraizada no empirismo (ROSA; ROSA, 2010; DOMIN, 1999a).

Na atividade experimental expositiva, cabe ao professor definir a questão a ser investigada, o procedimento a ser seguido e os métodos para solução da atividade (FAY; BRETZ, 2008; FAY et al., 2007). Não cabe ao estudante nenhuma responsabilidade, ou interferência, sobre o desenvolvimento da atividade, apenas conferir se os resultados obtidos estão corretos com os expressos nos manuais.

A característica predominante, nesse tipo de atividade, está relacionada a utilização de manuais de laboratório, que apresentam uma introdução na qual o conceito de interesse é apresentado e explicado, descreve um procedimento gradual, tem seções para registrar dados ou resultados e perguntas pós-laboratório (DOMIN, 1999a).

Esse modelo experimental, praticamente, não dá atenção ao planejamento da investigação, ou à interpretação dos resultados, pois ele é desenhado para reduzir a quantidade de tempo necessário para realizar a atividade de laboratório, proporcionando um caminho instrutivo, que requer menor esforço intelectual (JIMÉNEZ VALVERDE; LLOBERA JIMÉNEZ; LLITJÓS VIZA, 2006).

Exigindo apenas a utilização de habilidade de baixa ordem, como conhecimento, compreensão e aplicação, o estudante desenvolve, apenas, a capacidade de definir termos, identificar objetos laboratoriais e explicar conceitos (DOMIN, 1999b). Portanto, esse nível de abordagem anula a compreensão sobre os princípios da ciência aplicados no laboratório e impedem que o estudante realize uma reflexão conceitual que lhe permita integrar novas experiências ao conhecimento estudado.

Como alternativa à prática laboratorial expositiva, apresentamos o segundo nível de abordagem do experimento, a **prática experimental investigativa-guiada** (PAVELICH; ABRAHAM, 1979). Essa concepção teórico-metodológica segue as regras estabelecidas pelo método científico, de modo a trazer a formação do estudante para a fronteira da ciência (ROSA; ROSA, 2010; DOMIN, 1999a).

Nesse tipo de atividade experimental, cabe ao professor a elaboração e a entrega do problema, além de alguns procedimentos ou instruções ao estudante, enquanto a esse, cabe desenvolver seus próprios métodos de interpretação e análise e decidir quais dados coletar para propor soluções viáveis ao problema em estudo. Os estudantes também devem relatar suas descobertas à turma (FAY; BRETZ, 2008; FAY et al., 2007).

Esse nível de abordagem dá ao estudante propriedade sobre a atividade experimental, o que resulta em uma melhor atitude desses alunos, em relação à instrução científica, além de melhorar sua capacidade de utilizar o pensamento operacional formal, pois adquirem conhecimento e desenvolvem uma rica compreensão de conceitos, princípios, modelos e teorias (DOMIN, 1999a).

Por requerer mais atenção e esforço intelectual do estudante, esse nível, além promover habilidades cognitivas de aplicação, possibilita processos cognitivos de análise e síntese, permitindo que os estudantes possam: identificar a pertinências e/ou inconsistências nos dados encontrados e utilizar os conceitos aprendidos em novas situações (DOMIN, 1999b).

Essas habilidades cognitivas favorecem uma atitude mais coerente com a investigação científica e lhe é permitido associar, de uma maneira mais clara, os conceitos teóricos com os dados empíricos (JIMÉNEZ VALVERDE; LLOBERA JIMÉNEZ; LLITJÓS VIZA, 2006; DOMIN, 1999b).

A ênfase no processo científico, e não no conteúdo da ciência, tem desvalorizado a criatividade do trabalho científico, levando os alunos a compreenderem o conhecimento científico como verdades inquestionáveis (DOMIN, 1999; GIL-PÉREZ, 1996). Dessa forma, é necessário, além de desenvolver habilidades de pesquisa, possibilitar ao estudante a autonomia de definir um problema de pesquisa, formular hipóteses, planejar um experimento e identificar limitações.

Superando as visões epistemológicas das atividades práticas expositiva e investigativa-guiada, destaca-se a **atividade prática investigativa-aberta** (PAVELICH; ABRAHAM, 1979). Nessa concepção, o conhecimento é construído ativamente pelo estudante através de interações com o ambiente (ROSA; ROSA, 2010).

Nesse nível de abordagem experimental, o problema, ou um tema, são fornecidos ao estudante e ele decide uma questão para investigar. De posse do problema/questão, fornecidos ou escolhidos, os estudantes definem um método experimental apropriado e um esquema de análise, os quais devem ser aprovados pelo professor. Finalmente, eles devem chegar a uma conclusão viável ao problema, com base em sua análise de dados (FAY; BRETZ, 2008; FAY et al., 2007; DOMIN, 1999a).

Ao colocar os estudantes na posição de projetar, desenvolver e realizar suas próprias experiências, exige-se que ele utilize todas as habilidades cognitivas, pois além de conhecer fatos e princípios específicos sobre um determinado tópico de laboratório, o aluno precisará entender os conceitos subjacentes, o suficiente, para sintetizar uma metodologia viável, aplicar o que já é conhecida à nova situação apresentada no experimento, analisar os dados e avaliar os resultados para determinar se a metodologia realmente satisfaz o objetivo experimental (DOMIN, 1999b).

Nesse nível de abordagem, os experimentos são desenvolvidos na forma de problema, que assim como no mundo real, vêm primeiro e servem como um veículo para investigação e aprendizagem. Os estudantes, portanto, participam ativamente na construção de seu saber conceitual, procedimental e atitudinal, pois, ao aplicar seu entendimento de um conceito para planejar um caminho de solução, eles pensam sobre o que estão fazendo e o porquê estão fazendo.

Atividades práticas investigativas-abertas atendem aos objetivos centrais para orientação do trabalho experimental mais crítico, pois envolvem a aprendizagem das ciências como aquisição e o desenvolvimento de conhecimentos teóricos; a aprendizagem sobre a natureza das ciências, em que o desenvolvimento da natureza e dos métodos das ciências toma consciência das interações complexas, entre ciências e sociedade; e a prática da ciência em que há o desenvolvimento técnico, ético e entre outros, sobre a investigação científica e a resolução de problemas (HODSON, 1992; 1993; 1994).

De posse de habilidades de pesquisa e compreensão conceitual da ciência, os estudantes podem estabelecer relações mais complexas entre os conhecimentos que já se possui com os que são apresentados, possibilitando-lhes uma reflexão conceitual adequada e permitindo

situar, sócio-historicamente, os experimentos laboratoriais desenhados, rompendo a reprodução técnica e irrefletida da ciência.

6.2 NATUREZA DO PROBLEMA

A natureza do problema, em uma atividade experimental, tem o objetivo de identificar como o conhecimento científico é incorporado ao experimento. Essa dimensão é pensada com o intuito de romper com a concepção de que o conhecimento é produto isolado do conjunto de situações e problemas que os originam.

A experimentação, portanto, deve ser desenvolvida sob a forma de aquisição de dados da realidade, utilizados para a reflexão crítica do mundo e para o aprimoramento do desenvolvimento cognitivo (CHASSOT et al., 1993).

Considerando as concepções de cotidiano, contextualização, problematização (SANTOS; MORTIMER, 1999^a; 1999b; WARTHA; SILVA, BEJARANO, 2013; GONÇALVES; MARQUES, 2012), a concepção de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente – CTSA (SANTOS; AULE, 2011) e as habilidades de aprendizagem em soluções de problemas (POZO; CRESPO, 2009) a natureza do problema pode ser apresentada a partir de três perspectivas como é descrito no Quadro 4:

Quadro 4 – Níveis para natureza do problema em uma atividade experimental.

Nível Formativo	Natureza do Problema	Descrição	Habilidades de Aprendizagem
1	Aplicação	Apresenta exemplos cotidianos/industriais de aplicação do conceito	Aquisição e interpretação de informação
2	Contextualização	Tem o conhecimento disciplinar como subsídio cognitivo para pensar e agir sobre o mundo natural e social.	Análise de informação e realização de inferências
3	Problematização	Utiliza a abordagem CTSA por meio de situações-problemas locais com escalas globais a partir de metodologias ativas.	Compreensão, organização conceitual e comunicação da informação

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

Os experimentos podem ser um meio para exemplificação de aspectos do dia a dia dos estudantes e que estão relacionados aos conteúdos (GONÇALVES; MARQUES, 2012). Nesse contexto, o nível de **Aplicação** trata dos conceitos científicos relacionados aos fenômenos cotidianos/industriais. Neste caso, a abordagem está centrada nos conceitos científicos, em que a aplicação de exemplos é introdutória ao experimento.

Os experimentos, com natureza de aplicação, são caracterizados por relacionar situações corriqueiras ligadas à vida cotidiana e/ou aos processos industriais com conhecimentos científicos, ou seja, um ensino de conteúdos relacionados a fenômenos que ocorrem na vida diária, com vistas à aprendizagem de conceitos (SANTOS; MORTIMER, 1999a; WARTHA; SILVA, BEJARANO, 2013).

A aplicação de exemplos para a aprendizagem de conteúdos científicos traz, de maneira implícita, uma concepção do ensino de ciências que surge, entre outros fatores, da necessidade de despertar o interesse pela ciência nos alunos desmotivados que se encontram nas salas de aula, devido à obrigatoriedade do ensino de matérias científicas (SILVA et al., 2009; WARTHA; SILVA, BEJARANO, 2013).

No entanto, não é suficiente usar a Química cotidiana apenas como exercício de aplicação da teoria ou como introdução aos conceitos científicos (LISO et al., 2002). Assim, há uma necessidade de romper com a exemplificação de um conceito e levar em consideração aspectos sociais, tecnológicos e econômicos da vida do aluno, para que se tenha resultados mais efetivos sobre a aprendizagem dos conceitos químicos.

No nível de **Contextualização**, os conceitos químicos não são tidos como fatos isolados, mas como conhecimentos para pensar e agir sobre o mundo natural e social. Considerando os estudos de Gilbert (2006), usar “contexto” como elemento na elaboração de experimentos, pode favorecer as inter-relações científicas, econômicas, sociais, tecnológicas e ambientais.

Contextualizar a atividade experimental, portanto, é aproximar o conteúdo científico ao conhecimento não formal. Nesse sentido, a contextualização se apresenta como estratégia de ensino, aprendizagem e descrição científica de fatos e processos do cotidiano do aluno (SANTOS; MORTIMER, 1999^a).

A natureza de um problema contextual possibilita a construção de significações, à medida em que incorpora relações, tacitamente percebidas. O enraizamento na construção dos significados constitui-se por meio do aproveitamento e da incorporação de relações vivenciadas e valorizadas no contexto em que se originam (WARTHA; SILVA, BEJARANO, 2013).

No entanto, a natureza do experimento deve ir além do enfoque contextual sobre a ciência, tecnologia e ambiente, pois necessita proporcionar situações problemáticas reais que levem o estudante a um exercício de busca pelo conhecimento necessário para compreender e solucionar essas problemáticas.

No nível de **Problematização**, o experimento apresenta uma abordagem CTSA, em uma visão mais complexa (SANTOS; AULE, 2011), em que se estrutura por questões controversas de ciências na sociedade, as quais abordam problemas locais, com escalas globais e são desenvolvidos a partir de metodologias ativas, como por exemplo, estudos de caso e *WebQuest*¹⁶.

A utilização de problemas reais permite que a abordagem CTSA seja estruturada como questões sociocientíficas e que ocorra o estímulo de questionamentos de investigação. Nessa perspectiva, o conteúdo a ser trabalhado caracteriza-se como resposta aos questionamentos feitos pelos estudantes durante a interação com o contexto criado (GUIMARÃES, 2009).

A natureza do problema, nesse nível formativo, considera que sem a interrogação não pode haver conhecimento científico (BACHELARD, 1978), pois o conhecimento é construído.

De acordo com Popper (1975, 1983, 1986), toda a discussão científica deve partir de um problema, ao qual se oferece uma espécie de solução provisória, uma teoria-tentativa, passando-se, depois, a criticar a solução, com vistas à eliminação do erro e, tal como no caso da dialética (tese: antítese: síntese), esse processo se renovaria a si mesmo, dando surgimento a novos problemas.

A atividade experimental que tenha a problematização como orientadora do seu desenvolvimento possibilita, ao estudante, uma forma diferente de pensar sobre o mundo

¹⁶ O termo *WebQuest* é constituído por *Web* (rede de hiperligações – internet) e *Quest* (questionário, busca ou pesquisa). É um método de investigação orientado, em que as informações com as quais os estudantes interagem são originadas de recursos da internet.

natural. Uma vez que permite o confronto entre o teórico e a prática que se interligam a partir do diálogo entre o que foi idealizado e o que foi realizado (PRAIA; CACHAPUZ; GIL-PEREZ, 2002).

Esse modelo favorece, além das aprendizagens conceituais e procedimentais, a apropriação de conteúdos atitudinais. Permite a tomada de consciência da construção dinâmica do conhecimento e do reconhecimento de suas limitações, para sua melhor e mais útil aplicação, pois colabora para a construção de conhecimentos científicos e de valores importantes na tomada de decisões relativas a problemas relacionados à Ciência e à Tecnologia (GONÇALVES; MARQUES, 2012).

O experimento de natureza problematizadora pressupõe que a ciência é uma atividade humana e que sua construção é coletiva e carregada pelas características sociais de sua época. Nesse sentido, a Química pode ser percebida como aquela que possibilita a realização de atividades que lhe oportunize avaliar sobre o conhecimento existente.

A presença da problematização na abordagem dos conteúdos, durante a atividade experimental, é algo importante no próprio processo de problematização de tais atividades na educação superior em Química (GONÇALVES; MARQUES, 2012).

6.3 ALFABETIZAÇÃO E LITERACIA CIENTÍFICAS

A terceira dimensão se refere aos diferentes níveis de Alfabetização Científica que podem ser desenvolvidos no trabalho experimental, com o objetivo de analisar como a educação científica está sendo desenvolvida e as habilidades que estão sendo formadas nos estudantes.

Para esse estudo, compreendemos a Alfabetização Científica com base na ideia de alfabetização de Paulo Freire (1980), o qual entende a alfabetização como o domínio consciente das técnicas para uma postura interferente do indivíduo sobre seu contexto.

A alfabetização científica pode transitar entre o “fazer ciência” e o “usar ciência” (LAUGKSCH, 2000), o que pode permitir ao estudante o entendimento desde a natureza da ciência, à compreensão de termos e conceitos das ciências e, em nível mais alto, o entendimento dos impactos das ciências e suas tecnologias na sociedade, na economia e no ambiente.

Tomando como base as categorias para alfabetização científica (SHEN, 1975; LAUGKSCH, 2000), os níveis de estruturas dessa (ROBERTS, 2007), suas respectivas dimensões (BYBEE, 1995) e as suas devidas visões (EILKS, SJÖSTRÖM, ZUIN, 2017), estabelecemos três níveis de Alfabetização Científica (Quadro 5), essas que podem ser identificadas no trabalho experimental:

Quadro 5 – Níveis de alfabetização científica para o trabalho experimental.

Nível Formativo	Alfabetização Científica	Descrição	Dimensões
1	Alfabetização Conceitual	Educação científica baseada na estrutura da disciplina.	Funcional
2	Alfabetização Contextual	Educação científica baseada na contextualização do conhecimento.	Conceitual Procedimental
3	Alfabetização Crítica	Educação científica baseada em questões sociocientíficas.	Multidimensional

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

No primeiro nível, a alfabetização científica se restringe à dimensão do entendimento da natureza da ciência (LAUGKSCH, 2000). Seu foco está no desenvolvimento científico e na estrutura científica, ou seja, é uma **Alfabetização Científica Funcional** (BYBEE, 1995), de ordem prática.

Nesse nível, a educação científica é dirigida pela estrutura interna da disciplina e orientada pelos livros didáticos. Acontece quando o estudante aprende sobre os conceitos e utiliza-os de maneira adequada para se comunicar, ler e construir novos significados. Dessa forma, requer apenas o desenvolvimento de habilidades individuais, crescimento pessoal e formação acadêmica do estudante (BYBEE, 1995; EILKS, SJÖSTRÖM, ZUIN, 2017).

Nessa visão, o trabalho experimental é desenvolvido em uma abordagem tradicional e envolve o conhecimento químico, que pode ser usado para resolver problemas básicos em sua atuação profissional.

O segundo nível reflete uma concepção contextualizada da alfabetização científica, a sua dimensão compreende os termos e conceitos das ciências e a noção de suas implicações (LAUGKSCH, 2000). É uma **Alfabetização Científica Conceitual e Procedimental** (BYBEE, 1995), de ordem contextual.

Esse nível de alfabetização científica abrange o conhecimento necessário para compreender os problemas sociais ligados à ciência e à tecnologia (BYBEE, 1995). Nesse sentido, o ensino é organizado de forma a articular as relações entre a ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, para que seja fornecida, ao estudante, a compreensão da utilidade do conhecimento químico, em sua vida e na sociedade (EILKS, SJÖSTRÖM, ZUIN, 2017).

Ao lidar com aplicações cotidianas e contextualizadas dos conceitos químicos, é necessária a participação, individual e social, do estudante, na resolução dos problemas científicos, o que permite-lhe compreender os impactos da ciência e da tecnologia em sua vida cotidiana (ROBERTS, 2007).

O trabalho laboratorial deve ser organizado, de modo que possibilite, aos estudantes, conhecimentos sobre os processos e ações que fazem da química um modo de se construir conhecimento sobre o mundo, conferindo-lhes uma compreensão do conceito e de suas implicações sociais, econômicas e ambientais. Portanto, a aprendizagem da química deve partir de contextos significativos, em um movimento dialógico e contextual dos conceitos científicos.

Já no terceiro nível, a alfabetização científica tem sua dimensão no entendimento dos impactos das ciências e de suas tecnologias (LAUGKSCH, 2000), ou seja, trata-se de uma **Alfabetização Multidimensional** (BYBEE, 1995) de ordem crítica.

O ensino alinha-se a uma abordagem sociocientífica, que combina estratégias de ensino baseadas em resolução de problemas a objetivos de ensino relacionados ao desenvolvimento de habilidades e atitudes, com foco no desenvolvimento sustentável. (EILKS, SJÖSTRÖM, ZUIN, 2017).

A Educação científica, nesse nível de alfabetização, enfatiza a aprendizagem para o “saber-ação”, o que permite a formação de sujeitos orientados por valores individuais e sociais. (EILKS, SJÖSTRÖM, ZUIN, 2017). Essa formação possibilita, ao sujeito, senso crítico para a tomada de decisão em relação a benefícios e riscos ligados à ciência e para o seu posicionamento diante dos impactos sociais e ambientais dos avanços científicos e tecnológicos (CUNHA, 2017).

Roberts (2007) descreve que, além da capacidade de tomar decisões sobre as relações complexas entre a ciência, economia, sociedade e ambiente, o estudante, cientificamente

alfabetizado nesse nível é capaz de refletir, criticamente, sobre as informações que lhes são apresentadas e estruturar discursos que evidenciem os problemas científicos e suas interrelações.

Essas capacidades são importantes, pois as pessoas lidam, diariamente, com diferentes substâncias químicas, as quais estão presentes, desde a composição à embalagem dos produtos. Ao ser alfabetizado, criticamente, ou letrado, cientificamente, o sujeito pode considerar, na hora de consumir determinado produto, seus efeitos sobre a saúde, seus efeitos ambientais, seu valor econômico e as questões éticas relacionadas à sua produção e comercialização.

Portanto, a alfabetização crítica permite formar sujeitos capazes de atuar, minimamente, como consumidor e cidadão, o que, paralelamente, permite modelar, ativamente, uma sociedade futura de forma sustentável (EILKS, SJÖSTRÖM, ZUIN, 2017; LAUGKSCH, 2000).

O trabalho laboratorial, em uma dimensão multidimensional, requer do estudante a pesquisa científica, a solução de problemas e a tomada de decisão. Desse modo, os conteúdos de química devem ser abordados através do uso de questões sociocientíficas, no contexto de debates sociais controversos, que busquem a compreensão de como a química é relacionada com a sociedade, economia e ambiente.

6.4 AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

A avaliação da aprendizagem se apresenta como elemento fundamental em toda intervenção educativa. Nessa dimensão, essa avaliação se estabelece com o objetivo de analisar as experiências que os alunos realizaram e os conteúdos de aprendizagem em atividades experimentais.

Conhecer os conteúdos de aprendizagem, sobretudo no próprio processo de ensino aprendizagem e nas atividades que o compõem, é o referencial funcional para avaliar e acompanhar os avanços dos estudantes. Dessa forma, para saber o que aprendem os estudantes e o grau e tipo de aprendizagem, Zabala (1995) organiza os conteúdos de avaliação em: **Avaliação dos conteúdos factuais**, essa que pretende verificar o domínio ou conhecimento de elementos singulares com a máxima fidelidade; **Avaliação dos conteúdos conceituais**, avaliando o uso de cada um dos conceitos, em diversas situações, a partir de suas explicações

espontâneas; **Avaliação dos conteúdos procedimentais**, nessa o conhecimento é verificado em situações de aplicação do conceito, ou seja, em sua capacidade de uso, competência na ação e o saber fazer e **Avaliação dos conteúdos atitudinais**, essa que pretende observar os avanços e dificuldades de progresso de cada estudante.

A avaliação da aprendizagem também se configura mediante sua função, são elas: **Somativa**, orientada à busca por respostas objetivas e pela reprodução dos conceitos ensinados; **Diagnóstica**, permitindo identificar as condições necessárias ao planejamento do processo de ensino aprendizagem e identificação das causas de determinados problemas, ao longo do ensino e **Formativa**, essa que se preocupa em acompanhar, ajustar e conduzir o desenvolvimento do processo educativo (GUBA E LINCOLN, 1989; BLACK; WILIAM, 1998; HAYDT, 1997; FERREIRA, 2007).

Cada função citada diferencia o modo como avaliação é organizada e desenvolvida, ou seja, cada função avaliativa norteia uma abordagem de ensino que, de acordo com Mizukami (2016), na **Abordagem Tradicional**, a avaliação é realizada, predominantemente, visando a quantidade e exatidão de informações que se consegue reproduzir; na **Abordagem Cognitivista**, a avaliação deve ser apoiada em múltiplos critérios, considerando-se, principalmente, a assimilação e a aplicação, em situações variadas e na **Abordagem Sociocultural**, a avaliação consiste na autoavaliação e na avaliação mútua e permanente da prática pelo professor e aluno sobre as dificuldades e progressos do processo educativo.

Portanto, considerando as funções avaliativas (GUBA E LINCOLN, 1989; BLACK; WILIAM, 1998; HAYDT, 1997; FERREIRA, 2007), as abordagens do processo (MIZUKAMI, 1986) e os conteúdos da avaliação (ZABALA, 2010), estruturaram-se os níveis da dimensão da Avaliação da Aprendizagem (Quadro 6) para atividades experimentais:

Quadro 6 – Abordagens de avaliação da aprendizagem em práticas experimentais

Nível Formativo	Avaliação da Aprendizagem	Abordagem do Processo	Função da Avaliação	Conteúdo da Avaliação
-----------------	---------------------------	-----------------------	---------------------	-----------------------

1	Avaliação de Produto	Tradicional	Somativa	Factual
2	Avaliação de Processo	Cognitivista	Diagnóstica Somativa	Conceitual Procedimental
3	Avaliação Formativa	Sociocultural	Formativa	Conceitual Procedimental Atitudinal

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

Na **Avaliação de Produto**, o primeiro nível formativo se estabelece na função somativa da avaliação, com o objetivo de identificar se os alunos têm o domínio do que lhe é transmitido (GUBA E LINCOLN, 1989). Esse tipo de avaliação está diretamente ligado à abordagem tradicional de ensino (MIZUKAMI, 1986), visando a exatidão de reprodução das informações transmitidas pelo professor durante a realização da aula experimental.

Nessa dimensão, se objetiva a avaliação de conteúdos factuais (ZABALA, 2010), assim, a avaliação deve estar centrada em medir a capacidade dos estudantes em realizar operações matemáticas solicitadas nas propostas experimentais e na elaboração de relato científico, sobre o que ocorreu no experimento, com a máxima fidelidade das informações possíveis.

De acordo com Ferreira (2010), trata-se de uma avaliação que mede os resultados de aprendizagem que se revelam através das atribuições de notas, no final de uma atividade/relatório ou de um período de ensino-aprendizagem. Portanto, a avaliação do produto consiste em medir e classificar os resultados de aprendizagem obtidos pelos alunos, de forma quantitativa, em que a atividade passa a ter um fim em si mesma.

No segundo nível formativo, a avaliação se desenvolve em uma abordagem cognitivista de ensino (MIZUKAMI, 1986), realizada de forma mais qualitativa, a partir de parâmetros que implicarão verificar se o aluno adquiriu habilidades cognitivas. Nesse sentido, a **Avaliação de Processo** apresenta duas funções: a diagnóstica e a somativa (GUBA E LINCOLN, 1989; HAYDT, 1997), essas que permitem, além de medir a aquisição do conteúdo ao final do processo de ensino aprendizagem, a tomada de decisões do ponto de partida desse processo a partir dos conhecimentos que os alunos trazem consigo.

Através de sua função diagnóstica, a avaliação também permite, ao professor, conhecer os interesses e a disposição dos alunos para aprender, além de propiciar-lhe a identificação das causas de determinados problemas, ao longo do ensino, permitindo ao professor intervir, por meio de julgamento e tomada de decisão.

Nessa dimensão, a avaliação de conteúdos se dá em dois domínios: nos conteúdos conceituais e nos conteúdos procedimentais (ZABALA, 2010). A atividade experimental, que garante essas tipologias de conteúdo, deve oportunizar a capacidade de discutir os resultados do experimento, considerando a teoria que fundamenta; habilidade de articular os resultados aos objetivos do experimento e resolução quantitativa, ou qualitativa, do experimento, pois a compreensão de um determinado conceito e o saber fazer só podem ser verificados em variadas situações de aplicações.

A **Avaliação Formativa**, nível mais alto para essa dimensão, se estabelece na função formativa da avaliação (BLACK; WILIAM, 1998; HAYDT, 1997) e define-se de acordo com Perrenoud (1999), por seus efeitos de regulação dos processos de aprendizagem, ou seja, é formativa toda avaliação que ajuda o estudante a aprender e a se desenvolver.

Nesse sentido, tem sua avaliação voltada a uma abordagem sociocultural de ensino (MIZUKAMI, 1986), em que tanto os professores, quanto os estudantes, saberão quais as suas dificuldades e os seus progressos em relação à atividade desenvolvida, permitindo modificar as estratégias de ensino frente às dificuldades encontradas durante o processo.

A avaliação formativa engloba todas as atividades desenvolvidas, por professores e seus alunos, as quais fornecem informações em forma de feedback, o que proporciona ao estudante uma autoavaliação e autorregulação da sua própria aprendizagem, além de permitir a conscientização do estudante e a autonomia na sua aprendizagem (BLACK; WILIAM, 1998).

Nessa dimensão, a avaliação de conteúdos se dá em três domínios: nos conteúdos conceituais, nos conteúdos procedimentais e nos conteúdos atitudinais (ZABALA, 2010). Para avaliar a aprendizagem de conceito, a atividade deve se apresentar como resolução de conflitos, ou problemas, a partir do uso de conceitos; para avaliar a aprendizagem procedimental, devemos situar o estudante frente a atividades que lhes obriguem a desenvolver o conteúdo procedimental e que sejam facilmente observáveis e para a avaliação de atitudes, a fonte de informação para conhecer os avanços, nas aprendizagens, será pela observação do comportamento das atuações nas atividades em grupos e nas distribuições das tarefas e responsabilidades.

Esses domínios podem ser observados, nas atividades experimentais, através das: capacidade de compreensão e análise sobre a proposta experimental; habilidade de

conhecimento e seleção do conteúdo e esquema de atuação, para resolução da situação problema; resolução flexível e estratégica da resposta, diante da situação-problema apresentada e participação colaborativa na execução e discussão da atividade.

Portanto, a avaliação formativa está associada ao desenvolvimento, à melhoria e à regulação dos processos de ensino e aprendizagem, estando centrada sobre a gestão das aprendizagens dos alunos (FERNANDES, 2009; PERRENOUD, 1999).

6.5 MODELOS DE APRENDIZAGEM EDS

Os modelos de aprendizagem da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) têm como objetivo analisar se o experimento é impulsionado por questões ambientais e socialmente relevantes.

A EDS trata-se de incluir questões de desenvolvimento sustentável, como as mudanças climáticas e a biodiversidade, no ensino e na aprendizagem. Essa ação capacita as pessoas a mudar a maneira como pensam e trabalham em prol de um futuro sustentável. Os indivíduos são encorajados a serem atores responsáveis, que resolvam desafios, respeitem a diversidade cultural e contribuam para a criação de um mundo mais sustentável (UNESCO, 2005a).

A necessidade de reorientar o ensino, no sentido do Desenvolvimento Sustentável, é evidenciada desde a Agenda 21, estabelecida pela Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), realizada no Rio de Janeiro, Brasil, em 1992, reforçando a fundamental importância do ensino para conferir consciência ambiental e ética, valores e atitudes, técnicas e comportamentos, tudo isso em consonância com o Desenvolvimento Sustentável (UNCED, 1992).

Para se abordar o Desenvolvimento Sustentável para a Educação em Química, é importante considerarmos seis elementos, os quais foram baseados no *Guidelines and recommendations for reorienting teacher education to address sustainability* (UNESCO, 2005b) e no *Background of Education for Sustainable Development* (UNESCO, 2005c):

- **Conhecimento:** o ensino deve ter os conceitos base da química como suporte para entender os princípios da Química Verde e Sustentável.

- **Habilidades práticas:** o ensino deve estar integrado aos princípios da Química Verde e Sustentável, no contexto dos estudantes, para que saibam gerenciar e interagir com o ambiente, nos domínios do Desenvolvimento Sustentável.
- **Problemas:** o ensino deve abordar questões globais e locais, essas que devem estar relacionadas com as implicações sociais, econômicas e ambientais que ameaçam a sustentabilidade do planeta.
- **Pensamento crítico:** o ensino deve possibilitar o reconhecimento, comparação e reflexão da inserção da Química Verde e Sustentável, nos conteúdos de química, para desenvolver, nos estudantes, habilidades que permitam analisar as interações econômicas, sociais e ambientais de forma crítica.
- **Tomada de decisão:** o ensino deve permitir que os alunos tenham a oportunidade de participar do planejamento e das decisões de problemas sociocientíficos, de modo a considerar as implicações econômicas, sociais e ambientais em que o problema se insere, como também considerar as diferentes percepções, além da sua, acerca do problema.
- **Valores:** o ensino deve ter os valores que amparam o Desenvolvimento Sustentável como dimensão orientadora, para que os estudantes entendam seus próprios valores, os valores da sociedade em que vivem e os valores dos outros, o que permite-lhes ser membros responsáveis da sociedade.

Para a implementação das questões de Desenvolvimento Sustentável, estabelecemos três modelos de aprendizagem para EDS, em práticas experimentais (Quadro 7), baseados nos modelos básicos de abordagem de questões de sustentabilidade na Educação em Química (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012) e os elementos para abordar o Desenvolvimento Sustentável para a Educação em Química (UNESCO, 2005b; 2005c).

Quadro 7 – Modelo de aprendizagem para a EDS em práticas experimentais.

Nível Formativo	Modelos	Descrição	Elementos	Potencial de Aprendizagem sobre o DS	Potencial de Aprendizagem para o DS
-----------------	---------	-----------	-----------	--------------------------------------	-------------------------------------

1	Modelo 1	Adoção da Química Verde às práticas de laboratório	Conhecimento	Médio	Baixo
2	Modelo 2	Adoção de estratégia da Química Verde e da sustentabilidade como conteúdo na Educação Química	Habilidade Práticas Problemas	Alto	Médio
3	Modelo 3	Adoção de questões sociocientíficas que impulsionam a educação em química	Pensamento Crítico Tomada de decisão Valores	Alto	Alto

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

O **Modelo 1**, adoção da Química Verde (QV) às práticas de laboratório, permite ao estudante aplicar os princípios da Química Verde (ANASTAS; WARNER, 1998) em suas atividades experimentais, possibilitando aprender a minimizar o uso de recursos, maximizar os efeitos e proteger o meio ambiente, uma vez que irão desenhar metodologias que proporcionem uma economia de átomos e que evitem a produção de resíduo, além de procurar substituir substâncias perigosas por outras menos nocivas à saúde e ao meio ambiente.

O elemento, que constitui esse modelo, se restringe ao conhecimento que permite os estudantes transformarem experimentos tradicionais em experimentos orientados, de acordo com os princípios da Química Verde (UNESCO, 2005b; 2005c).

A contribuição da química para o Desenvolvimento Sustentável, nesse modelo, só é atingida se os estudantes forem capazes de reconhecer, comparar e refletir sobre a implementação dos princípios da QV no novo desenho experimental (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012), pois esse movimento dialógico é o que permite a mudança de atitude e a ampliação do conhecimento químico.

No entanto, esse modelo não garante, ao estudante, habilidades que permitam-lhe a tomada de decisão, frente ao desenvolvimento tecnológico sustentável, uma vez que os estudantes não são engajados na natureza controversa da interação entre ciência, tecnologia e sociedade (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012).

Portanto, a contribuição desse modelo é de forma mediana para o aprendizado *sobre* o Desenvolvimento Sustentável e de forma baixa para o Desenvolvimento Sustentável

(BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012), pois está restrito à incorporação dos princípios da QV, sem ênfase na complexa interligação entre ciência, tecnologia e sociedade.

Já no **Modelo 2**, a adoção de estratégia da Química Verde e da sustentabilidade como conteúdo na Educação Química, os estudantes aprendem sobre a Química Verde e suas contribuições para o desenvolvimento sustentável. Os princípios químicos básicos, por trás da Química Sustentável e Verde e suas aplicações, se tornam parte do conceito a ser aprendido, permitindo uma compreensão completa da interação entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

Os elementos que se fazem presentes, nesse modelo, são as habilidades práticas e o problema, pois o ensino é desenvolvido, nesse, por meio de problemas do contexto do estudante, permitindo integrar os princípios da Química Verde ao Desenvolvimento Sustentável, para que permita aos estudantes analisar as interações econômicas, sociais e ambientais de forma crítica (UNESCO, 2005b; 2005c).

É importante que a concentração dos estudantes não esteja focada, principalmente, ou restritamente, no aprendizado do conteúdo químico por trás de sua aplicação tecnológica, pois essa forma de abordagem não oferece apoio cognitivo ao estudante para construir uma compreensão complexa (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012; MARQUES; MACHADO, 2018).

Portanto, as questões de sustentabilidade devem ser incorporadas como parte dos conceitos químicos, no contexto adequado, para oferecer aos estudantes acesso a questões de sustentabilidade, permitindo o desenvolvimento de habilidades gerais necessárias para participar de debates sociais sobre questões sociocientíficas emergentes. (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012).

Esse modelo, referente ao potencial de aprendizagem (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012), permite um aprendizado alto em relação à aprendizagem sobre o Desenvolvimento Sustentável, por envolver problemas do cotidiano dos estudantes e um médio potencial referente à aprendizagem para o Desenvolvimento Sustentável, pois ainda não desenvolve, no estudante, habilidade para se ter tomada decisão em situações complexas de impactos econômicos, sociais e ambientais.

No **Modelo 3**, a adoção de questões sociocientíficas que impulsionam a educação em química, integra a aprendizagem química, a partir de questões sociocientíficas, uma vez que inclui a base química do conhecimento e a reflexão social sobre sua aplicação prática, permitindo o desenvolvimento de habilidades educacionais gerais, na área das ações de um indivíduo como um membro responsável da sociedade, oportunizando-lhe participação ativa nos debates sociocientíficos (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012).

Esse modelo abrange o desenvolvimento do pensamento crítico, tomada de decisão e valores, permitindo aos estudantes participarem do planejamento e das decisões de problemas sociocientíficos, inseridos em seu contexto social, possibilitando-lhes atuarem como membros responsáveis da sociedade (UNESCO, 2005b; 2005c).

Essa abordagem não só constitui a aprendizagem explícita da química, mas também inclui o aprendizado sobre química e de como sua prática é abordada na sociedade (HODSON, 1992; 1993; 1994; BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012). Um dos exemplos da aplicação desse modelo é o uso de bagaço de laranja para extração de produtos de valor agregado (ZUIN et al., 2019).

A compreensão dos debates sociais e o desenvolvimento de habilidades apropriadas para participar, ativamente deles, são sistematicamente incorporados ao foco do conceito em que o experimento se fundamenta. Os alunos aprendem, a partir dessas atividades, a como participarem, na tomada de decisões na sociedade, a fim de contribuírem para moldar um futuro sustentável (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012).

Portanto, esse modelo permite que os estudantes aprendam sobre o Desenvolvimento Sustentável e para o Desenvolvimento Sustentável, em um alto potencial de aprendizado, o que nos possibilita termos mais educação, através da ciência, ao invés da ciência através da educação, uma vez que essa é usada como ferramenta para alcançar a sustentabilidade.

6.6 DESIGN DO EXPERIMENTO

A necessidade de se pensar e desenhar práticas experimentais simples, de conteúdo significativo e que reduzam ou eliminem efeitos negativos ao ambiente, fundamenta a sexta

dimensão da experimentação formativa, com o objetivo de uma releitura dos desenhos experimentais desenvolvidos nos laboratórios de ensino.

Já a necessidade de desenhar práticas laboratoriais que minimizem os impactos ambientais é evidenciada em seu discurso mais amplo, pela primeira vez, em 1971, no livro “*Design for the real World: Human ecology and social change*”, do designer Victor Papanek (PAPANEK, 2005), no qual ele evidenciava uma reflexão sobre as contribuições do *design* na preservação ambiental, décadas antes da “sustentabilidade” virar rótulos.

Os aspectos multifacetados de *design* e considerações ambientais estruturam o conceito de *ecodesign*. Para o nosso estudo, o *ecodesign* se apresenta como solução sustentável que possibilita alterações no desenho experimental que minimizem impactos negativos e maximizem impactos sustentáveis, econômicos, ambientais, sociais e éticos (CHARTER; TISCHNER, 2001).

Logo, a metodologia de *ecodesign* promove uma aprendizagem mais interligada ao desenvolvimento de conhecimento, cientificamente relacionado, em um movimento de diálogo e cooperação que combinam capacidades visionárias, criativas, analíticas e baseadas na experiência (KARLSSON; LUTTROPP, 2006).

Para a implementação do *ecodesign*, Fiksel (1996) aponta algumas práticas a serem desenvolvidas, dentre as quais, para o trabalho experimental didático, destacamos:

- **Projetos voltados à simplicidade:** em que se deve procurar a forma mais simples de abordar o conceito de trabalho ou o experimento escolhido. Pois, a forma mais simples, geralmente, possui um menor custo, por utilizar uma menor quantidade de material.
- **Redução de matérias-primas na fonte:** essa prática implica na redução da quantidade de substâncias utilizadas no experimento, o que impacta, positivamente, na quantidade de resíduos gerados. No experimento, reduzir a sua dimensão, ou seja, desenvolver em microescala e fazer a utilização de materiais recicláveis ou naturais como substitutos, são práticas mais comuns de redução.
- **Recuperação e reutilização dos resíduos:** essa prática evidencia a importância da adoção de técnicas de recuperação dos resíduos gerados. Lembrando que é mais ecoeficiente a mínima produção de resíduos.

- **Prevenção de acidentes:** nessa devem ser aplicadas práticas de prevenção de acidentes durante a execução do experimento. Essas possíveis práticas já devem estar contidas no planejamento experimental.
- **Não utilização de substâncias perigosas:** essa prática prevê que todas as substâncias que possam ocasionar algum dano à saúde e ao meio ambiente sejam eliminadas ou substituídas.

Considerando as práticas de aplicação dos conceitos de *ecodesign* (FIKSEL, 1996) e os aspectos do *ecodesign* no processo de ensino e aprendizagem (KARLSSON; LUTTROP, 2006; STABLES, 2008), foram estabelecidos três tipos de *design* (Quadro 8) que podem ser abordados no planejamento do experimento:

Quadro 8 – Tipos de Design para o trabalho experimental.

Nível formativo	Design do Experimento	Descrição
1	Design Tradicional	O experimento é pensado e desenhado sem qualquer preocupação com a segurança e os impactos ambientais que podem causar.
2	Design Verde	No experimento são incorporados princípios da Química Verde para que haja uma redução nos impactos ambientais.
3	Design Sustentável	O experimento, além de incorporar os princípios da Química Verde, é pensado e desenhado de modo que assegure o mínimo impacto ambiental e proporcione segurança aos estudantes envolvidos.

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

No **design tradicional**, o experimento é pensado e desenhado de modo a atingir o objetivo didático referente ao conceito que está sendo discutido, ou seja, sua preocupação não está na segurança do seu desenvolvimento ou nos impactos à saúde e ao ambiente que ele pode proporcionar durante e após a sua execução.

Nesse *design*, são utilizadas substâncias de risco elevado de acidente à saúde e ao ambiente sem qualquer preocupação em reduzir as quantidades ou concentrações utilizadas. Também podem utilizar, ou produzir, substâncias que não são degradáveis e não podem ser tratadas.

Para resíduos que podem ser gerados pelas práticas de *design* tradicional, não é dada nenhuma atenção à quantidade e toxicidade que pode apresentar, ou seja, não é adotada nenhuma prática de recuperação ou tratamento desses resíduos.

O ***design verde*** propõe a implementação de princípios da Química Verde, ao se pensar e desenhar o experimento, ou seja, no seu planejamento é incorporado práticas que reduzam os possíveis impactos à saúde e ao ambiente.

Dentre as práticas, substituem substâncias perigosas por substâncias que apresentam baixo risco de acidente à saúde e ao ambiente e quando a inviabilidade de substituição é adotada, são adotadas medidas que possam reduzir a quantidade ou a concentração dessas substâncias.

Sobre os resíduos decorrentes da prática, esse *design* tem a preocupação de estabelecer técnicas para que esses possam ser tratados, caso não possam ser recuperados ou reutilizados.

O ***design sustentável***, além de incorporar princípios da Química Verde, é pensada a incorporação dos princípios da Química Sustentável e desenhada de modo que assegure o mínimo impacto ambiental, ou seja, o experimento é planejado para que atinja tanto os objetivos didáticos, quanto a segurança dos estudantes que participam da prática e do meio ambiente.

Para isso, o experimento pensado e desenhado deve estar voltado à simplicidade (FIKSEL, 1996), pois terá o menor custo e utilizará uma menor quantidade de matérias. A adoção dessa prática é importante, pois leva a substituição de substâncias e materiais convencionais por aqueles encontrados no cotidiano, permitindo a aproximação dos fenômenos reportados no experimento à vivência dos estudantes.

Esse *design* também propõe a utilização de substâncias e matérias renováveis, ou que podem ser reutilizadas e que não apresentem riscos de acidente, riscos à saúde e ao ambiente.

Quanto aos resíduos, esse *design* adapta o experimento para que seja produzido o mínimo possível e o que for produzido seja recuperado, ou reutilizado, em outras práticas. São estabelecidos, também, em seu desenho, medidas e cuidados no manuseio dos reagentes, produtos, equipamentos e resíduos, minimizando, assim, risco de acidentes.

Esse tipo de *design* proporciona uma inter-relação mais inteligente com a natureza e promove um espiral de aprendizagem mais eficaz, por interligar os aspectos ambientais ao

desenvolvimento de conhecimentos cientificamente relacionados (KARLSSON; LUTTROPP, 2006).

6.7 REAGENTES E PRODUTOS

A sétima dimensão da experimentação formativa para a Educação em Química Verde e Sustentável se refere aos reagentes a serem utilizados e aos produtos formados na prática experimental, com o objetivo de possibilitar uma avaliação sobre os possíveis danos que essas substâncias podem causar à saúde humana, ao ambiente, os riscos de acidentes e a degradabilidade e renovabilidade das substâncias envolvidas.

Nos anos 90, um número de substâncias tóxicas, carcinogênicas e corrosivas foi rotineiramente usado em laboratórios de ensino, muitas vezes sem aplicações práticas para os estudantes. Essa configuração levou os laboratórios de ensino a serem vistos como perigosos e irrelevantes (HAACK; HUTCHISON, 2016).

Esse crescimento desenfreado e desmedido, na utilização de produtos químicos, sem se importar com as consequências decorrentes a curto e longo prazo, tem causado prejuízos tanto à saúde, quanto ao meio ambiente, que se faz sentir até os dias atuais (PIMENTEL et al., 2006).

Para identificar e avaliar os riscos das substâncias envolvidas em um experimento, devemos considerar a ABNT NBR 14725-3: 2017, elaborada no Comitê Brasileiro de Química (ABNT/CB-10), pela Comissão de Estudo de Informações de Segurança, Saúde e Meio Ambiente Relacionados a Produtos Químicos (ABNT, 2017).

De modo a facilitar essa identificação e análise dos danos à saúde humana, ao ambiente e os riscos de acidente, relacionamos os tipos de riscos aos seus respectivos níveis e classificação das substâncias, como é observado no Quadro 9:

Quadro 9 – Riscos de substâncias que podem ser envolvidas em uma prática experimental.

Riscos	Nível de Risco	Classificação das substâncias	Exemplos
--------	----------------	-------------------------------	----------

Saúde	Alto	Corrosivo Extremamente tóxico Extremamente inflamável Tóxico Nocivo	Ácido fluorídrico Cianeto de hidrogênio Éter etílico Nitroglicerina Diclorometano
	Moderado	Irritante Inflamável	Carbonato de Sódio Acetona
	Baixo	Produto químico não classificado como perigoso	Água Sacarose
Ambiente	Alto	Perigoso para o meio ambiente	Dicromato de amônio Sulfato de cobre (II)
	Baixo	Produto químico não classificado como perigoso	Substâncias biodegradáveis Óxido de ferro
Acidentes	Alto	Inflamável Extremamente inflamável Explosivo Oxidante	Etanol Éter etílico Nitroglicerina Peróxido de hidrogênio
	Moderado	Irritante Comburente	Cloreto de cálcio Peróxidos
	Baixo	Produto químico não classificado como perigoso	Água Sacarose

Fonte: ABNT (2017).

Portanto, para que o experimento apresente baixos níveis de risco, ele deve priorizar a utilização de reagentes disponíveis na natureza, como por exemplo, a utilização de alimentos como frutas e legumes e de resíduos industriais e agroindustriais, ou que formem produtos que já façam parte da natureza, como por exemplo, carbonato de cálcio e óxido de ferro, esses que podem ser descartados, dentro dos limites permitidos, no ambiente, sem provocar danos.

As substâncias envolvidas na prática experimental, além de terem o seu nível de risco identificado e avaliado, precisam ser analisadas quanto a sua renovabilidade e degradabilidade, com o intuito de evitar o uso de substâncias não renováveis e que permaneçam nos ambientes por um longo período (RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010; SAQUETO, 2015).

A identificação e análise, do nível de degradabilidade e renovabilidade, podem ser realizadas através das características das substâncias envolvidas no experimento, como podemos verificar no Quadro 10:

Quadro 10 – Degradabilidade e renovabilidade para substâncias que podem ser envolvidas em uma prática experimental.

	Nível	Características
--	-------	-----------------

Degradabilidade	Alta	Substâncias inócuas ou biodegradáveis
	Moderada	Substâncias que podem ser tratadas e tornar substâncias inócuas
	Baixa	Substâncias não-degradáveis ou substâncias perigosas
Renovabilidade	Alta	Substâncias renováveis
	Moderada	Substâncias que podem ser reutilizadas em novos experimentos
	Baixa	Substâncias não renováveis e que não podem ser reutilizadas

Fonte: Adaptado Duarte et al. (2014).

A substituição de reagentes perigosos e a minimização da formação de produtos não renováveis, quando feita de forma adequada, favorece ao desenvolvimento de práticas experimentais mais sustentáveis e proporciona, aos estudantes, uma aproximação dos conceitos científicos às substâncias presentes no seu cotidiano, tornando a aprendizagem do conceito uma ação formativa.

Considerando os riscos à saúde humana e ao ambiente, os riscos de acidentes e a degradabilidade e renovabilidade, das substâncias envolvidas, foram estabelecidas três categorias de reagentes e produtos (Quadro 11) que podem estar presentes na prática experimental:

Quadro 11 – Níveis dos tipos de reagentes e produtos em experimentos didáticos.

Nível Formativo	Tipos de Reagentes e Produtos	Características
1	Reagentes e Produtos perigosos	▪ Risco elevado a saúde e ao meio ambiente ▪ Utiliza reagente perigoso ▪ Produtos perigosos, não degradáveis ou não podem ser tratados
2	Reagente e produtos de baixo impacto ambiental	▪ Risco moderado a saúde e ao meio ambiente ▪ Utiliza reagente de risco baixo a moderado ou em concentrações seguras ▪ Produtos de risco moderado e que podem ser reutilizados ou tratados
3	Reagentes e Produtos verdes	▪ Risco baixo ou não envolvem riscos à saúde e ao meio ambiente ▪ Utiliza reagente natural ▪ Produtos de baixo risco e de degradação inócua

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

A utilização de **reagentes e produtos perigosos** (primeiro nível) pode ocasionar danos à saúde e ao ambiente, assim como, está mais propenso a ocorrer acidentes durante e após o desenvolvimento da prática experimental.

Em alguns casos, a utilidade educacional de um produto químico pode ser obscurecida pelos riscos que ele representa para a saúde humana e ao meio ambiente (EPA, 2008; WALLAU; SANTOS, 2013). Nesse sentido, a presença de reagentes, ou produtos perigosos, leva o experimento, nessa dimensão, ao nível formativo mais baixo. Produtos químicos que são mais perigosos do que educacionais devem ser evitados em sala de aula, como por exemplo:

Tabela 2 – Produtos químicos que são mais perigosos que educacionais.

Substância	CAS	Perigo
Ácido fluorídrico	75-09-2	Muito tóxico; corrosivo
Ácido sulfúrico	8014-95-7	Corrosivo; pode ser fatal se ingerido
Benzeno	71-43-2	Inflamável; carcinogênico humano conhecido e mutagênico
Cianeto de cálcio	592-01-8	Pode ser fatal se inalado ou ingerido
Cianeto de hidrogênio	74-90-8	Altamente tóxico; inflamável
Cloro	7782-50-5	Oxidante; corrosivo; pode ser fatal se inalado
Éter etílico	60-29-7	Extremamente inflamável
Sulfeto de potássio	1312-73-8	Espontaneamente combustível; explosivo; corrosivo
Sulfeto de sódio	1313-82-2	Corrosivo; pode ser fatal se inalado ou ingerido

Fonte: Adaptada EPA (2008).

Portanto, produtos químicos que incluem oxidantes fortes, corrosivos, tóxicos, carcinogênicos não são adequados para uso em laboratórios de ensino.

Os **reagentes e produtos de baixo impacto ambiental** (segundo nível) são aqueles que apresentam risco baixo a moderado à saúde e ao ambiente, além de concentrações seguras para sua manipulação e descarte. Se tornam opção de utilização no experimento quando não há a possibilidade de empregar substâncias naturais, pois apresentam nível de degradabilidade e renovabilidade de baixo a moderado.

Ao diminuir os perigos dos materiais utilizados, as instituições podem remodelar, ou construir, novos laboratórios que tenham menos necessidade de ventilação, diminuindo tanto a despesa de capital para capelas de exaustão, quanto os custos contínuos de energia de sistemas extensivos de AVAC (HAACK; HUTCHISON, 2016).

A substituição de produtos danosos por outros menos agressivos é motivada pela busca de um equilíbrio entre saúde, meio ambiente e eficácia do produto (PIMENTEL et al., 2006).

Muitas vezes, produtos químicos, de laboratório comuns, têm equivalentes comerciais que estão disponíveis em concentrações mais seguras do que as substâncias puras vendidas pelos fabricantes de produtos químicos (EPA, 2008). Equivalentes comerciais são encontrados, geralmente, em supermercados, farmácias e lojas de materiais de construção, assim como podemos observar na tabela abaixo:

Tabela 3 – Equivalentes comerciais de produtos químicos de laboratório.

Substância	Fórmula Molecular	Equivalente Comercial	Local de Compra
Ácido acético	CH ₃ COOH	Vinagre (5% solução)	Supermercado
Ácido ascórbico	C ₆ H ₈ O ₆	Vitamina C	Farmácia
Ácido carbônico	H ₂ CO ₃	Água com gás	Supermercado; bomboniere
Amônia	NH ₃	Solução de amônia 10%	Farmácia; supermercado
Butano	C ₄ H ₁₀	Fluido de isqueiro	Supermercados
Chumbo	Pb	Apetrecho de pesca	Loja de artigos esportivos
Enxofre	S	Flor de enxofre	Lojas de jardinagem
Hidróxido de Magnésio	Mg (OH) ₂	Leite de Magnésia	Farmácia
Hidróxido de Potássio	KOH	Potassa cáustica	Loja de ferragens; loja de cerâmica
Óxido de cálcio	CaO	Cal	Loja de material de construção
Permanganato de Potássio	KmnO ₄	Permanganato de Potássio (comprimidos)	Farmácia
Sulfato de alumínio	Al ₂ (SO ₄) ₂	Floculante em pó	Loja de material de piscina
Sulfato de cálcio	CaSO ₄	Pedra de gesso	Loja de material de construção
Tiossulfato de sódio	Na ₂ S ₂ O ₃	Hipossulfito de sódio ou fixador	Loja de fotografia
Zinco	Zn	Unhas galvanizadas	Loja de material de construção; loja de ferragens

Fonte: Adaptada EPA (2008).

É importante ressaltar que a utilização de produtos químicos, comercialmente disponíveis, não elimina a ocorrência de riscos de acidentes, dessa forma, é importante que sejam tomadas as devidas precauções de segurança em seu manuseio e descarte.

O último nível abrange **reagentes e produtos verdes**, esses que são, geralmente, substâncias naturais, ou que já fazem parte da natureza. A utilização dessas substâncias leva ao nível formativo máximo, nessa dimensão, por apresentar riscos mínimos de acidentes, não causar danos à saúde e ao ambiente e ter alto nível de degradabilidade ou renovabilidade.

A utilização de substâncias naturais, ou de produtos de uso cotidiano em experimentos químicos, também tem sido apontada como uma ferramenta de interesse e de melhor

compreensão dos conceitos químicos envolvidos (SILVA; ALMEIDA; GARCÊS, 2013; SAQUETO, 2015).

Muitos pesquisadores têm substituído os reagentes perigosos, ou convencionais, por reagentes naturais, para a realização de experimentos clássicos na literatura, como:

- Utilização de indicadores naturais, extraídos de frutas e legumes, substituindo indicadores convencionais, como fenolftaleína e azul de bromotimol, no estudo de ácidos e bases e escala de pH (TERCI; ROSSI, 2001; CUCHINSKI; CAETANO; DRAGUNSK, 2010).
- Métodos de extração de compostos orgânicos naturais, sem utilização de solventes orgânicos, como a extração de cafeína de materiais solúveis em água (BRENELLI, 2003) e a extração de D-Limoneno, a partir de resíduos do processamento de citros (ZUIN et al., 2019)
- Emprego de reagentes naturais para determinação de ácido acético, substituindo reagentes convencionais, como o biftalato de potássio, hidróxido de sódio e fenolftaleína (SUPHAROEK et al., 2018).

Diante desses exemplos, podemos verificar que a substituição de substâncias perigosas, ou convencionais, em experimentos clássicos, é possível, e traz inúmeras vantagens, em termos de aprendizagem e conservação ambiental, quando realizadas em colaboração com as demais dimensões.

Portanto, conhecer os reagentes a serem utilizados no experimento e os produtos gerados, permite aos estudantes realizar uma avaliação crítica da aplicação do conhecimento em Química, tendo em vista o diagnóstico e o equacionamento de questões ambientais e a competência necessária para um profissional em Química (BRASIL, 2001).

6.8 GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A necessidade de se discutir sobre a geração e os impactos de resíduos químicos, em laboratórios de ensino, levou ao estabelecimento da oitava dimensão para uma prática experimental formativa. O objetivo é reconhecer os problemas relacionados ao tratamento e à disposição final dos resíduos gerados e promover, conscientemente, a responsabilidade para

com os rejeitos gerados no laboratório de ensino, durante o desenvolvimento das práticas experimentais.

Os resíduos gerados em laboratórios de ensino, como também nos de pesquisa, em Institutos e Departamentos de Química das Universidades, apresentam baixo volume, no entanto, apresentam uma grande diversidade de composições, dificultando a tarefa de estabelecer um tratamento químico e/ou uma disposição final padrão para todos (GERBASE; COELHO; MACHADO, 2005; MOQBEL, 2018).

De acordo com a natureza dos resíduos químicos, provenientes dos laboratórios de ensino ou pesquisa, eles podem ser classificados como **resíduo ativo** (aquele gerado, continuamente, nas atividades rotineiras no laboratório) e o **resíduo passivo** (que compreende todo aquele resíduo estocado, via de regra não-caracterizado, aguardando destinação final, incluindo, desde restos reacionais, passando por resíduos sólidos, até frascos de reagentes, ainda lacrados, mas sem rótulos) (JARDIM, 1998; AFONSO et al., 2003).

Os resíduos ativos ainda podem ser classificados como: **insumo**, definido como produto originado de qualquer processo de recuperação, ou de algum processo de síntese e que já possui destino de reutilização; **resíduo**, esse que possui um potencial de uso com, ou sem tratamento, podendo ser reaproveitado em outro experimento e o **rejeito**, que não apresenta possibilidade técnica, ou econômica de uso, devendo ser tratado e descartado (DEMAMAN et al., 2004; MACHADO; MÓL, 2008).

Ainda que os resíduos gerados, nas atividades de ensino, sejam de fácil caracterização e gerenciamento, alguns aspectos devem ser levados em consideração no planejamento do experimento e na disposição final dos resíduos:

1. Prevenir a geração de resíduos, diminuindo volumes e concentrações de reagentes químicos;
2. Utilizar reagentes que causem menor impacto ambiental, incluindo a saúde dos indivíduos;
3. Minimizar a proporção de resíduos perigosos que são inevitavelmente gerados, através da utilização de pequenos volumes;

4. Reusar, recuperar e reciclar, sempre que possível, os resíduos químicos, preservando recursos naturais;
5. Manter todo o resíduo produzido na sua forma mais passível de tratamento;
6. Tratar o resíduo da forma mais adequada, estocando pelo menor tempo possível;
7. Dispor o resíduo de maneira segura;
8. Alterar experimentos que não se enquadrem nessa proposta, substituindo reagentes químicos, sem prejudicar a compreensão das relações conceituais. (JARDIM, 1998; AFONSO et al., 2003; MACHADO; MÓL, 2008).

Esses aspectos levam à conscientização da necessidade de minimização e descarte adequados, de resíduos químicos, visando a ressignificação da atitude diária do estudante durante as aulas de laboratório e no decorrer de sua prática cotidiana de pesquisa quanto à disposição adequada dos resíduos químicos gerados por eles. Dessa forma, é importante discutir e implementar ações menos poluentes que permitam, aos estudantes, um momento de aprendizagem, tendo em vista a preservação do meio ambiente, redução de resíduos e sustentabilidade.

Considerando a classificação dos resíduos produzidos em laboratório de ensino (JARDIM, 1998; AFONSO et al., 2003; GERBASE; COELHO; MACHADO, 2005; MOQBEL, 2018) e os aspectos que devem ser considerados na geração de resíduos (JARDIM, 1998; AFONSO et al., 2003; MACHADO; MÓL, 2008), foram estabelecidas três categorias de resíduos que podem ser identificados no momento de planejamento e após a realização da prática experimental, como podemos observar no Quadro 12:

Quadro 12 – Níveis de geração de resíduos em práticas experimentais didáticas.

Nível Formativo	Categorias de Resíduo	Características
1	Resíduo perigoso	- Sem qualquer forma de minimização dos resíduos gerados - Todo rejeito é armazenado, tratado e encaminhado para descarte seguro - Resíduos que envolva risco elevado a saúde e ao ambiente
2	Resíduo de baixo impacto ambiental	- Todo resíduo gerado é possível de ser tratado - Resíduo reaproveitado - Resíduo que envolva risco moderado a saúde e ao meio ambiente
3	Resíduo verde	- Todos os resíduos são inócuos - Resíduos já possuem destino de reutilização - Os rejeitos gerados podem ser descartados em lixo reciclável ou orgânico - Resíduos que não envolve riscos à saúde e ao meio ambiente

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

Os **resíduos perigosos** envolvem resíduos oxidantes, redutores ou aqueles com presença de sulfetos e cianetos, os quais apresentam riscos elevados à saúde e ao ambiente, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. A presença desses resíduos, em uma aula experimental, torna-a uma atividade potencialmente poluidora.

Esses tipos de resíduos, devido a sua periculosidade, devem ser armazenados com identificação química, pictogramas de emergência, informação de perigo e frase de precaução que devem estar contidas na ficha com dados de segurança do resíduo químico, de acordo com a NBR 16725:2014 (ABNT, 2014). Esses resíduos também envolvem uma disposição final, geralmente, de custo elevado, por meio de incineração, coprocessamento ou envio a aterros industriais (BRASIL, 2005; DRUMMOND, 2006).

A falta de planejamento, a fim de minimizar os resíduos gerados, também os tornam perigosos. Portanto, essa característica é incorporada a essa categoria, pois um dos fatores primordiais, na busca de ações voltadas à redução na geração de resíduos, está no exercício da análise dos roteiros das propostas experimentais.

Dessa maneira, é imprescindível buscar formas de substituir as substâncias perigosas, no planejamento do experimento, e minimizar a quantidade dos resíduos gerados, nas aulas

experimentais, bem como planejar a recuperação ou o descarte deles (MACHADO; MÓL, 2008).

Os **resíduos de baixo impacto ambiental** envolvem risco baixo a moderado à saúde e ao meio ambiente e são, geralmente, armazenados e reaproveitados em outros experimentos.

Diferentemente dos resíduos perigosos, os de baixo impacto ambiental, não perigosos, podem ser armazenados, apenas, com a identificação do produto, recomendações de precaução, quando necessárias, e com a frase: “Resíduo não classificado como perigosos de acordo com a ABNT NBR 14725-2” (ABNT, 2014).

Por serem considerados de baixo impacto, muitas vezes são jogados diretamente na pia dos laboratórios, sem a preocupação com os impactos a curto e longo prazo que podem causar. No entanto, nenhum descarte de resíduos químicos deve ser feito sem que seja considerada a necessidade de tratamento prévio, a fim de eliminar, ou reduzir, acidentes ou danos ao meio ambiente (KAUFMAN, 1990; JARDIM, 1998; AFONSO et al., 2003)

Os **resíduos verdes**, esses que possuem um maior nível formativo, são aqueles que passaram por um processo de análise no planejamento do experimento para poderem ser totalmente tratados e recuperados para a utilização em outros experimentos, e serem inócuos, não ocasionando nenhum risco à saúde ou ao ambiente.

Esse nível foi estabelecido considerando o primeiro princípio da Química Verde: “**Prevenção**” (ANASTAS; WARNER, 1998), o qual considera que é melhor prevenir a geração de um resíduo do que trata-lo, ou eliminá-lo, depois de gerado. A prevenção tem uma faceta pedagógica importante e deve, neste contexto, ser explorada na sua plenitude pelos docentes envolvidos tanto com o ensino, como com a pesquisa (JARDIM, 1998).

Deve-se ensinar os estudantes a darem preferência a experimentos cujos resíduos sejam inócuos ou possam, posteriormente, ser úteis em outras atividades experimentais (MACHADO; MÓL, 2008). Dessa forma, além de ensinar os conceitos científicos, ajuda a despertar a responsabilidade socioambiental e a promover a responsabilidade para com os rejeitos gerados no laboratório.

O ambiente não pode ser negligenciado em prol da experimentação. Logo, antes de se realizar qualquer atividade prática, há que se avaliar suas implicações socioambientais,

favorecendo a percepção da Química como uma ciência que tem papel fundamental no compromisso ético com a vida (MACHADO; MÓL, 2008).

6.9 MÉTRICA

Para uma análise das Dimensões Formativas de um experimento didático e seus Níveis Formativos correspondentes, foi elaborada a Tabela 4, estruturada como uma ferramenta de avaliação qualitativa do Nível Formativo dos processos experimentais e seus subsídios educacionais.

Tabela 4 – Dimensões da Experimentação Formativa para a Educação Química Verde e Sustentável.

Dimensão Formativa	Descrição	Preceitos	Nível Formativo
D1 – Abordagem do experimento	Investigativa-aberta	▪ O problema é fornecido ao estudante; ou um tema é fornecido ao estudante e ele escolhe o problema a explorar. ▪ O estudante desenvolve um procedimento para investigar o problema, decidir quais dados coletar e interpreta os dados para propor soluções viáveis.	3
	Investigativa-guiada	▪ O problema e os procedimentos/instruções são fornecidos ao estudante. ▪ O estudante interpreta os dados para propor soluções viáveis.	2
	Expositiva	▪ O problema, o procedimento e as orientação para a resposta são fornecidos ao estudante. ▪ O estudante verifica os resultados com a teoria previamente discutida.	1
D2 – Natureza do Problema	Problematização	▪ Problemas locais com escalas globais. ▪ Problemas desenvolvidos a partir de metodologias ativas. ▪ Abordagem CTSA¹⁷ estruturadas como situações-problemas.	3
	Contextualização	▪ A contextualização como introdução ao experimento. ▪ O conhecimento disciplinar como subsídio cognitivo para pensar e agir sobre o mundo natural e social.	2
	Aplicação	▪ Apresenta exemplos cotidianos/industriais de aplicação do conceito abordado.	1
D3 – Alfabetização Científica	Alfabetização Crítica	▪ Requer o desenvolvimento de habilidades críticas. ▪ Permite a transformação orientada por valores individuais e sociais. ▪ Enfatiza a aprendizagem para o “saber-ação”.	3

¹⁷ Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente – CTSA (VILCHES; GIL-PÉREZ; PRAIA, 2011).

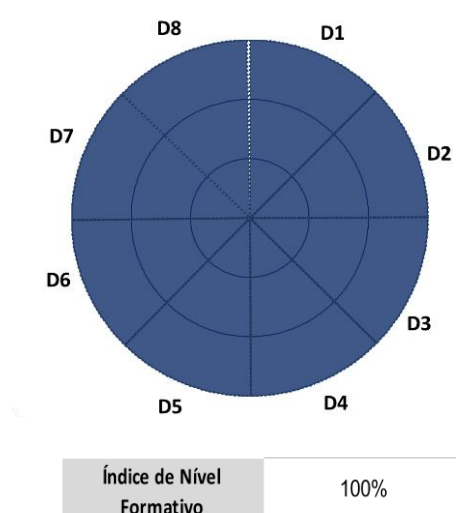
		Educação científica baseada em questões sociocientíficas.	
	Alfabetização Contextual	- Requer a participação individual e social do estudante. - Permite a compreensão da ciência e suas aplicações. - Educação científica baseada na contextualização do conhecimento.	2
	Alfabetização Conceitual	- Requer o desenvolvimento de habilidades individuais, crescimento pessoal e formação acadêmica. - Educação baseada na estrutura da disciplina.	1
D4 – Avaliação da Aprendizagem	Avaliação Formativa	- Capacidade de compreensão e análise sobre a proposta experimental. - Habilidade de seleção do conteúdo e esquema de atuação para resolução da situação-problema. - Resolução estratégica e flexível da situação-problema apresentada.	3
	Avaliação de Processo	- Capacidade de discutir os resultados do experimento considerando a teoria. - Habilidade de articular os resultados aos objetivos do experimento. - Resolução quantitativa ou qualitativa do experimento realizado.	2
	Avaliação de Produto	- Capacidade de realizar operações matemáticas solicitadas na proposta experimental. - Elaboração de relato científico sobre o que ocorreu no experimento.	1
D5 – Modelos de Aprendizagem ESD	Adoção de questões sócio científicas que impulsionam a educação em química	- Parte de questões sociocientíficas. - Abordagem de aspectos controversos. - Inclui o conhecimento químico e a reflexão social sobre sua aplicação prática. - Interdisciplinaridade.	3
	Adoção de estratégias de sustentabilidade como conteúdo na educação em química	- Compreensão da interação entre CTSA. - Tornar as questões de sustentabilidade parte do conteúdo. - Incorporação de estratégias sustentáveis.	2
	Adoção da Química Verde as práticas de laboratório	- Incorpora os princípios da Química Verde. - Foco no aprendizado do conteúdo químico.	1
D6 – Design para o Experimento	Design Sustentável	- Todos as substâncias e materiais envolvidos são renováveis ou reutilizáveis. - As substâncias envolvidas não apresentam riscos de: acidentes, à saúde e ambiente. - Todo resíduo formado é recuperado ou reutilizado. - Estabelece medidas e cuidados no manuseio de reagentes, equipamento e/ou resíduos. - Realiza o experimento em microescala.	3

	Design Verde	▪ Algumas substâncias e materiais envolvidos são renováveis ou podem ser reutilizadas. ▪ Redução da quantidade ou concentração das substâncias utilizadas. ▪ As substâncias envolvidas apresentam baixo risco de: acidentes, à saúde e ambiente. ▪ Estabelece medidas e cuidados no manuseio de reagentes, equipamento e/ou resíduos. ▪ Todos os resíduos que não são recuperados ou reutilizados são tratados.	2
	Design Tradicional	▪ Nenhuma substância e materiais envolvidos são renováveis ou podem ser reutilizados. ▪ As substâncias envolvidas apresentam riscos elevados de: acidentes, à saúde e ambiente. ▪ Pelo menos uma substância envolvida não é degradável e não pode ser tratada. ▪ Não apresenta qualquer preocupação na quantidade de resíduos gerados.	1
D7 – Reagentes e Produtos	Reagentes e Produtos verdes	▪ Utilizam reagentes e produtos que não envolvem riscos à saúde e ao ambiente. ▪ Todas os reagentes e produtos são inócuos. ▪ Utiliza algum reagente natural. ▪ Produtos de degradação inócua.	3
	Reagentes e Produtos de baixo impacto ambiental	▪ Utilizam reagentes e produtos que apresentam risco moderado a saúde e ao ambiente. ▪ Utiliza reagentes convencionais. ▪ Os produtos podem ser reutilizados ou tratados.	2
	Reagentes e Produtos perigosos	▪ Utilizam reagentes e produtos que apresentam risco elevado a saúde e ao ambiente. ▪ Utiliza reagentes importados. ▪ Os produtos não são degradáveis ou não podem ser tratados.	1
D8 – Geração de resíduos	Resíduo Verde	▪ Todos os resíduos são inócuos. ▪ Recuperação e utilização dos resíduos gerados ou não gera resíduo.	3
	Resíduo de baixo impacto ambiental	▪ Todo resíduo gerado é possível de ser tratado. ▪ Todo resíduo perigoso é armazenado e encaminhado para descarte seguro. ▪ Resíduos que envolva risco moderado a saúde e ao ambiente.	2
	Resíduo Perigoso	▪ Sem qualquer forma de minimização dos resíduos gerados. ▪ Resíduos que envolva risco elevado à saúde e ao ambiente.	1

Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

A partir da constatação do Nível Formativo correspondente a cada Dimensão Formativa, é possível criar a construção gráfica do experimento didático e seu Índice de Nível Formativo (INF). A figura gráfica (Figura 1) é estabelecida a partir da soma dos valores atribuídos a cada dimensão, sendo três o valor máximo para cada ângulo. O Índice de Nível Formativo indica, em percentual, sob uma perspectiva geral, o alcance formativo da proposta experimental. Vale ressaltar, que o intuito dessas informações não é a mensuração, mas a possibilidade de propor parâmetros plurais para analisar uma proposta experimental.

Figura 1 – Dimensões Formativas para a Educação Química Verde e Sustentável de maior nível formativo possível.



Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

A métrica das Dimensões Formativas para a Educação Química Verde e Sustentável, se apresenta como uma ferramenta de avaliação qualitativa para visualizar os alcances e limites das atividades experimentais didáticas, em uma perspectiva formativa orientada para a formação crítica.

6.10 AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS EXPERIMENTAIS A PARTIR DAS DIMENSÕES FORMATIVAS – EQVS

Para demonstrar a aplicação da métrica das Dimensões Formativas – EQVS, foi realizada uma análise de duas propostas experimentais, acerca do tema poluição, desenvolvidas pelos estudantes do Grupo G3 (Anexo B) e G4 (Anexo C), em que ambos

propuseram uma produção de bioplásticos. Essas propostas experimentais foram escolhidas a partir da matriz de similaridade (Tabela 5), que indica a taxa de aproximação entre as dimensões formativas para cada proposta experimental em relação aos outros grupos.

Tabela 5 – Matriz de similaridade.

Temas	Grupos	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
Funções Orgânicas	G1	1	0,83	0,5	0,67	0,92	0,83	0,75	0,92	1	0,92	0,67
Indicadores ácido-base	G2	0,83	1	0,58	0,67	0,75	0,83	0,92	0,75	0,83	0,92	0,83
Poluição	G3	0,5	0,58	1	0,58	0,42	0,67	0,67	0,42	0,5	0,5	0,67
Poluição	G4	0,67	0,67	0,58	1	0,58	0,5	0,58	0,58	0,67	0,75	0,67
Indicadores ácido-base	G5	0,92	0,75	0,42	0,58	1	0,75	0,67	0,83	0,92	0,83	0,58
Tabela Periódica	G6	0,83	0,83	0,67	0,5	0,75	1	0,92	0,75	0,83	0,75	0,83
Tabela Periódica	G7	0,75	0,92	0,67	0,58	0,67	0,92	1	0,67	0,75	0,83	0,92
Tabela Periódica	G8	0,92	0,75	0,42	0,58	0,83	0,75	0,67	1	0,92	0,83	0,58
Tabela Periódica	G9	1	0,83	0,5	0,67	0,92	0,83	0,75	0,92	1	0,92	0,67
Indicadores ácido-base	G10	0,92	0,92	0,5	0,75	0,83	0,75	0,83	0,83	0,92	1	0,75
Combustíveis	G11	0,67	0,83	0,67	0,67	0,58	0,83	0,92	0,58	0,67	0,75	1

Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

Ao observarmos os grupos que desenvolveram experimentos sobre o mesmo tema, observamos que o grupo G3 e o grupo G4, ambos com o tema poluição, apresentaram o índice mais baixo entre experimentos de mesmo tema, sendo 0,58 de similaridade entre os experimentos, como pode ser observado na matriz de similaridade (Tabela 5). Assim, utilizaremos a métrica das Dimensões Formativas – EQVS para analisarmos em quais aspectos as propostas experimentais se divergem e como podem influenciar o processo de aprendizagem.

Portanto, analisaremos a aplicação da métrica sobre as propostas experimentais do Grupo 3 “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?” e do Grupo 4 “Síntese de bioplástico”, ambas desenvolvidas com turmas do 3º ano do Ensino Médio, identificando os aspectos que os configuram.

No que se refere à proposta experimental “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?”, para a Dimensão D1, a abordagem do experimento é caracterizada como investigativa-guiada, Nível Formativo N2, uma vez que os procedimentos foram executados pelos estudantes e os resultados observados foram utilizados por eles para refletirem e fundamentarem o processo de discussão proposto como atividade no *WebQuest*. Esse Nível Formativo permitiu desenvolver uma compreensão dos conceitos de polímeros,

polissacarídeos bioplástico e alguns princípios da Química Verde, como o da prevenção, Síntese de Produtos Menos Perigosos, Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima e Desenho para a Degradação.

Situar o experimento, nesse Nível Formativo, possibilitou uma compreensão geral do conceito em estudo, assim como promoveu habilidades cognitivas que favorecem uma associação mais clara dos conceitos teóricos e os dados empíricos, como indicam os estudos de Domin (1999) e Jiménez Valverde e colaboradores (2006).

Em relação a Natureza do Problema, Dimensão D2, o experimento obteve Nível Formativo N3, pois aborda o experimento através de uma situação-problema, de escala global, que é a poluição terrestre e dos mares por materiais poliméricos sintéticos utilizando um *WebQuest* como ferramenta didática.

A organização didática e conceitual inserida no *WebQuest*, nessa Dimensão, permitiu situar o conceito de bioplástico, evidenciando as implicações sociais, tecnológicas, científicas e ambientais dessa problematização. Esse modelo favoreceu a construção das habilidades de aprendizagem (POZO; CRESPO, 2009) de compreensão, organização conceitual e comunicação da informação, uma vez que houve uma discussão sociocientífica sobre o bioplástico, a partir da seguinte situação-problema: “Diante dos problemas apresentados e da necessidade de pensar em produtos que não causem danos ao meio ambiente, como você produziria o bioplástico a partir do amido e como provaria que poderia ser um bom substituto aos plásticos advindos do petróleo?”

Portanto, as discussões organizadas e orientadas, com o auxílio do *WebQuest*, potencializaram, além das aprendizagens conceituais e procedimentais, a apropriação de conteúdos atitudinais (GONÇALVES; MARQUES, 2012), pois abordar a prática experimental, em sua natureza problematizadora, permitiu que os sujeitos envolvidos desenvolvessem novas formas de pensar sobre a utilização dos plásticos sintéticos e dos bioplásticos e suas implicações para o meio ambiente e a vida humana.

A formulação do conteúdo, a partir dos recursos disponibilizados pelo *WebQuest*, também auxilia no estabelecimento da Alfabetização Científica, Dimensão D3, pois, ao integrar o experimento a atividades de pesquisa e discussão em grupos, coloca o sujeito

como protagonista do processo de aprendizagem, à medida que lhe é orientado a selecionar as fontes de informações mais adequadas para o processo de discussão, a partir de temas como: Alternativa Sustentável; Associação Brasileira da Indústria do Plástico; Produção e consumo sustentáveis; Fiscalização do trabalho de profissionais e empresas da área química e Plástico no oceano, isso enfatizando a aprendizagem para o “saber-ação” e a formação de habilidades críticas.

Assim como oportunizou aos estudantes um momento de discussão com seus pares, permitindo a transformação orientada de valores, tanto individuais quanto sociais, uma vez que a discussão organizada permitiu aos estudantes escutarem, refletirem e se posicionarem sobre as diferentes informações e pontos de vistas acerca da fabricação e utilização dos plásticos sintéticos e bioplásticos e seus impactos à economia, à sociedade e ao ambiente. Esses aspectos caracterizam a alfabetização em uma dimensão multidimensional (BYBEE, 2012), permitindo, ao sujeito, o desenvolvimento, tanto da pesquisa científica, como de solução de problemas e tomada de decisão, favorecendo o entendimento dos impactos das ciências e suas tecnologias. Portanto, a Alfabetização Científica, nessa proposta experimental, é tida como Alfabetização Crítica, obtendo o maior Nível Formativo N3, para essa Dimensão.

A Avaliação da Aprendizagem, Dimensão D4, ocorreu em diferentes formatos. Durante o processo, foi observado o desenvolvimento dos domínios da avaliação de conteúdo (ZABALA, 2011), os conteúdos conceituais e procedimentais foram identificados no momento da realização do debate para resolução situação-problema, a partir do desenvolvimento da capacidade da habilidade de conhecimento e seleção do conteúdo e esquema de atuação para a resolução das questões levantadas nas discussões e os conteúdos atitudinais, observados durante o processo de discussão, a resolução flexível, estratégica e responsável dos grupos em relação às respostas sobre a situação-problema.

Ao final do processo, foi utilizado um *Quis*, na plataforma *Kahoot!*¹⁸. Dentre suas utilizações, em sala de aula, destacamos sua função avaliativa por oportunizar, ao professor, avaliar o progresso do aprendizado dos estudantes através dos relatórios de jogos. O *Kahoot* é uma plataforma online, baseada em um *Quis Game*, no qual podem ser adicionadas diferentes tipos de perguntas (múltipla-escolha, verdadeiro/falso, pesquisa, slide, quebra-cabeça) pelo professor e essas são convertidas em um jogo com pontuação e interação (DELLOS, 2015). No *Quis* realizado, houve 10 perguntas (dentre elas, de múltipla-escolha e verdadeiro/falso), abordando desde os componentes químicos presentes no processo de produção do bioplástico, até perguntas sobre o noticiário internacional, que foi discutido durante o desenvolvimento da prática experimental.

Também foi realizado um *feedback* como exercício de autoavaliação, por meio da plataforma online *Google Forms*, para que os sujeitos avaliassem a sua participação no desenvolvimento das atividades, o uso das ferramentas didáticas para o desenvolvimento do experimento (*WebQuest*, Celular, *Kahoot!*), o experimento desenvolvido e a atuação dos licenciandos. Esse exercício viabiliza, de acordo com Black e William (1998), a conscientização do estudante e a autonomia sobre o seu processo de aprendizagem.

Portanto, as diferentes atividades desenvolvidas, nos diferentes momentos do processo de aprendizagem, permitem a gestão da aprendizagem dos estudantes envolvidos, caracterizando o desenvolvimento de avaliação formativa (BLACK; WILLIAM, 1998; HAYDT, 1997). Com isso, constatamos o Nível Formativo N3, para essa respectiva Dimensão.

Para o Modelo de Aprendizagem ESD, Dimensão D5, é identificado a adoção de questões sociocientíficas que impulsionam a educação em química, Nível Formativo N3, por incluir a base química do conhecimento de produção dos plásticos convencionais e bioplásticos para reflexão social sobre as implicações práticas, em que inclui reportagens sobre ecossistemas marinhos afetados pelo descarte incorreto do material polimérico e suas consequências até regiões remotas, como a Antártica.

¹⁸ O Quiz desenvolvido durante a disciplina de Experimentação na Educação Química pelos licenciandos sob orientação da autora e da professora da disciplina pode ser acessado através do link <https://kahoot.it/> e com o PIN: 123456.

Assim, é possível identificar o pensamento crítico, a tomada de decisão e os valores como elementos norteadores da abordagem do Desenvolvimento Sustentável (UNESCO, 2005a; UNESCO, 2005b) nesse experimento, tendo o estudo, acerca dos bioplásticos, como uma situação de aprendizagem que impulse o alcance da sustentabilidade.

As características identificadas, nessa proposta experimental, possibilitam, em concordância com os estudos de Burmeister e colaboradores (2012), o desenvolvimento de habilidades gerais para ação do indivíduo como membro ativo e responsável da sociedade, ou seja, os alunos aprendem como participar dos debates e decisões sociocientíficas, de modo a contribuir para o futuro sustentável.

O *Design* do Experimento “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?” apresenta, como aspectos de implementação do *ecodesign*, um projeto voltado à simplicidade e a não utilização de substâncias perigosas (FIKSE, 1996), por apresentarem uma proposta mais simples para síntese de bioplásticos, utilizando substâncias de fontes renováveis, como a farinha de tapioca (fécula extraída da mandioca) e o suco de limão, pelo fato dessas substâncias não apresentarem riscos à saúde, nem ao meio ambiente. Na proposta experimental, também são descritas as medidas e cuidados no manuseio de reagentes, equipamentos e/ou resíduos importantes para a minimização de acidentes e impactos ao ambiente.

Todas essas características qualificam a proposta experimental como um *design* sustentável, obtendo Nível Formativo N3, para a Dimensão D6, proporcionado, aos estudantes, de acordo com Karlsson e Luttrupp (2006), um espiral de aprendizagem mais eficiente sobre os aspectos ambientais voltados à sustentabilidade e aos conhecimentos cientificamente relacionados.

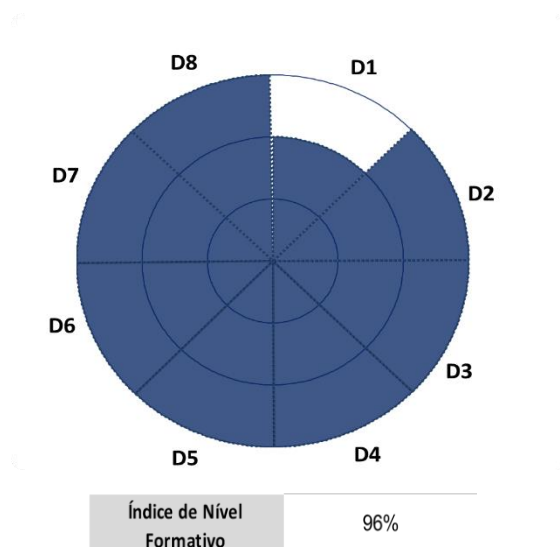
Analisando os Reagentes e os Produtos, Dimensão D7, foi constatada apenas a utilização de reagentes naturais – farinha de tapioca e suco de limão – que são inócuos, considerados de nível de risco baixo para a saúde humana e ao meio ambiente, de acordo com a ABNT NBR 14725-3:2019 (ABNT, 2019). O produto gerado – o bioplástico – possui degradação inócua, ou seja, um alto nível de degradabilidade (DUARTE, 2014).

Portanto, os reagentes e produtos desse experimento são considerados verdes, atingindo Nível Formativo máximo, N3, para essa Dimensão.

No que se refere a Geração de Resíduos, Dimensão D8, durante o processo de produção do bioplástico, não há formação de resíduo, alcançando o princípio da “prevenção” (ANASTAS; WARNER, 1998). Dessa forma, observa-se que houve uma preocupação socioambiental, proporcionando, em concordância com Machado e Mól (2008), o favorecimento da percepção da Química como uma ciência que tem papel fundamental no compromisso ético com a vida. Nesse caso, constata-se Nível Formativo, N3, para essa Dimensão.

A partir da identificação das Dimensões Formativas e seus respectivos Níveis Formativos, da proposta experimental analisada, podemos verificar sua representação gráfica (Figura 2):

Figura 2 – Dimensões Formativas – EQVS do experimento “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?”



Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

Observando a figura gráfica, notamos que a proposta experimental obteve um alto índice formativo, estando orientada, portanto, sob um nível crítico-reflexivo, permitindo que os estudantes participantes desenvolvessem um senso mais crítico e reflexivo, sobre o conhecimento químico, que envolve a temática bioplástico e suas implicações

socioambientais, além da capacidade de pensar, criticamente, em sua participação em ações sociopolíticas no melhor interesse da biosfera.

No que se refere à proposta experimental “Síntese de bioplástico” para a Dimensão D1, também foi obtido Nível Formativo N2, abordagem investigativa-guiada. Esse nível é justificado pois, apesar do experimento ser realizado pelo professor, ele oportunizou um ensinar e o aprender como processos indissociáveis; e apresentou a contextualização e a educação ambiental como integrantes do experimento.

A inserção do experimento, após a aula teórica sobre a história dos polímeros, polímeros naturais e sintéticos, e polímeros e meio ambiente, possibilitou o desenvolvimento das habilidades cognitivas (DOMIN, 1999) de aplicação e análise para uma associação mais clara das temáticas com os dados empíricos coletados no experimento.

Diferentemente do Grupo 3, a proposta experimental do Grupo 4 teve a Natureza do Problema, Dimensão 2, voltada à contextualização (SANTOS; MORTIMER, 2000), ou seja, abordou o conceito de polímeros com o enfoque ambiental, como forma de situar e relacionar o conhecimento específico, restringindo as habilidades de aprendizagem em soluções de problemas (POZO; CRESPO, 2009), a análise de informações e realização de interferências.

A contextualização, para essa proposta experimental, foi estruturada utilizando reportagens sobre projetos de lei que proíbem a utilização de sacolas e utensílios plásticos, os dejetos plásticos no mar e a produção de lixo plástico no Brasil e no mundo, para a incorporação de relações tacitamente percebidas entre os impactos sociais e ambientais, causados pelo uso de plásticos sintéticos, e as implicações da utilização do bioplástico para a economia, sociedade e meio ambiente. Assim, para essa Dimensão, é identificado o Nível Contextual, configurando Nível Formativo N2.

Quanto a Alfabetização e Literacia Científicas, Dimensão 3, a proposta é de ordem contextual (SHEN, 1975) e de dimensão conceitual e procedimental (BYBEE, 2012), por buscar a participação individual e social do aluno, quando em seus objetivos de ensino apresenta: “conscientizar-se os impactos da poluição, principalmente, por utilização e

descarte indevido de plástico e reconhecer como o consumismo, da sociedade atual, pode trazer à tona questões ambientais” (Proposta Experimental G4). Assim como desenvolve a compreensão da ciência quando também propõe: “relacionar os mecanismos de formação de polímeros a partir de polissacarídeos e reconhecer a importância do desenvolvimento de tecnologias sustentáveis” (Proposta Experimental G4).

Além desses aspectos, o experimento permite a compreensão da ciência e suas implicações, utilizando o contexto ambiental, ao apresentar a produção e consumo de produtos, contendo plásticos, através da realização de um experimento investigativo sobre a síntese de um bioplástico, o que permite ao aluno compreender, em concordância com Roberts (2007), os impactos da ciência e tecnologia em sua vida cotidiana.

O desenvolvimento desse nível de alfabetização oportuniza um movimento dialógico e contextual dos conceitos científicos. No entanto, não se propôs a desenvolver habilidades necessárias à formação crítico-social do sujeito, como no experimento anterior. Portanto, a caracterização de uma alfabetização contextual resulta em Nível formativo N2, para essa dimensão.

A proposta experimental, no que se refere à Avaliação da Aprendizagem, Dimensão D4, assim como no experimento “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?”, também se caracteriza como uma avaliação formativa, mas, a partir de outros aspectos como na resolução estratégica das questões apresentadas ao final do experimento, percebida nas seguintes indagações: “Pergunta 1: Qual a importância da utilização de materiais biodegradáveis?” e “Pergunta 2: O bioplástico poderia suprir o uso de plásticos convencionais em algum setor? Quais?”; e da seleção do conteúdo e das observações feitas, durante a realização do experimento, para propor respostas a essas perguntas. A observação desses aspectos também indica que a avaliação do conteúdo se deu em seus três domínios (ZABALA, 2011).

De modo a englobar todos os momentos da proposta, após a resolução das perguntas, foi realizado um *feedback* (BLACK; WILIAM, 1998) com os alunos, com o intuito de identificar suas impressões quanto à atividade realizada e o interesse deles pela carreira científica. Portanto, a forma como a avaliação é estruturada e conduzida, possibilita que o estudante aprenda e se desenvolva, obtendo, assim, Nível Formativo N3.

No Modelo de Aprendizagem ESD, Dimensão 5, o experimento torna as questões de sustentabilidade parte do conteúdo (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012), quando discute a possibilidade de fabricação de plásticos, a partir de fontes renováveis, e as vantagens destes, em termos ambientais, destacando-se o menor tempo de degradação e a ausência de produtos tóxicos. Os elementos que nortearam o desenvolvimento da ESD (UNESCO, 2005a; UNESCO, 2005b) nessa proposta, incluem: habilidades práticas que proporcionaram aos estudantes integrar os conceitos de polímeros e seu processo de produção e degradação aos domínios ambientais e problemas por abordar as implicações econômicas sociais e ambientais da utilização de polímeros sintéticos e bioplásticos.

No entanto, esses aspectos não são suficientes para que os estudantes desenvolvam habilidades que lhes permitam a tomada de decisão, em situações complexas, frente ao desenvolvimento tecnológico sustentável (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012). Portanto, para essa Dimensão, temos o Nível Formativo N2, que tem a adoção de estratégias de sustentabilidade como conteúdo na Educação Química.

O *Design* do Experimento, Dimensão D6, para essa proposta experimental, apresentou, dentre as práticas de aplicação do *ecodesign* (FIKSEL, 1996), uma substância não perigosa e de fonte renovável de biomassa: o polissacarídeo (amido de milho); reduziu a quantidade de substâncias na fonte, em que a concentração de 1 mol/L de HCl (Ácido Clorídrico) e NaOH (Hidróxido de Sódio), comumente utilizada (SILVA; SILVA; SANTOS, 2015), foi reduzida para 0,1 mol/L, de ambos os reagentes; assim como realizou uma redução na quantidade de glicerina de 10 mL (SILVA; SILVA; SANTOS, 2015) para 2 mL; em alguns experimentos são utilizados corantes (MALAJOVICH, 2014), mas para esse *design* optou-se por não utilizar, evitando empregar recursos que não iriam influenciar na aprendizagem e na exceção do experimento, além de não contaminar o solo no processo de decomposição do bioplástico; o design desenvolvido também apresenta medidas e cuidados no manuseio dos reagentes, equipamentos e resíduos.

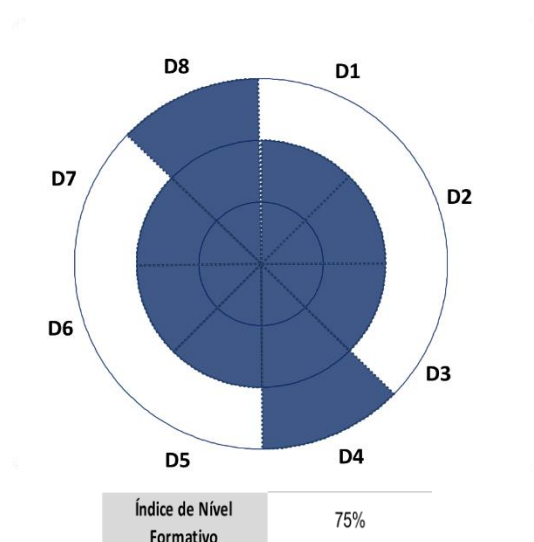
Portanto, essa proposta foi pensada e desenhada para incorporar práticas que reduzem os possíveis impactos à saúde e ao ambiente, o que configura o experimento com um *Design Verde*, Nível Formativo N2.

Os Reagentes e Produtos, Dimensão 7, são caracterizados como de baixo impacto ambiental, Nível Formativo N2, pois mesmo empregando reagentes convencionais, como HCl e NaOH, que são substâncias irritantes e corrosivas, ambos foram utilizados em baixa concentração (0,1 mol/L), reduzindo o risco à saúde humana e ao meio ambiente de acordo com a ABNT NBR 14725-3:2019 (ABNT, 2019). Em relação ao produto gerado, esse não apresenta risco, tendo alto nível de degradabilidade (DUARTE; RIBEIRO; MACHADO, 2014), podendo ser descartado, assim como indicado na proposta experimental, em lixo comum.

No que se refere à Geração de Resíduos, Dimensão D8, assim como no experimento “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?”, durante o processo de produção do bioplástico, todo reagente é consumido e não há formação de resíduo. O princípio da Prevenção (ANASTAS; WARNER, 1998), também evidenciado nesse experimento, de acordo com Jardim (1998), tem uma faceta pedagógica importante por ajudar a despertar a responsabilidade socioambiental e sobre os rejeitos gerados. Portanto, constata-se o Nível Formativo N3 para essa Dimensão.

Com a identificação das Dimensões Formativas e seus respectivos Níveis Formativos da proposta experimental analisada, podemos verificar, na Figura 3, sua representação gráfica:

Figura 3 – Dimensões Formativas – EQVS do experimento “Síntese de bioplástico”.



Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

Considerando os níveis identificados e o Índice de Nível Formativo, o experimento analisado está orientado, em sua maioria, sob um nível contextual, o que possibilitou, aos estudantes, uma estruturação dos conceitos químicos ao seu contexto cotidiano e às questões sociocientíficas, tecnológicas e ambientais contemporâneas.

Ao contrapor as análises das dimensões e observar as figuras gráficas, nos experimentos analisados, podemos verificar os elementos essenciais que tornam o experimento formativo. Assim, o uso da métrica, Dimensões Formativas – EQVS, como ferramenta, auxilia professores e licenciandos na análise e identificação dos aspectos que aproximam o experimento de um processo de ensino e aprendizagem formativo, de modo a desenvolver o pensamento crítico e uma aprendizagem voltada ao saber-ação.

7 ANALISANDO A CONSTRUÇÃO DA FORMAÇÃO CRÍTICA EM PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NA LICENCIATURA EM QUÍMICA

As práticas experimentais, na formação docente, têm papel fundamental para a construção do conhecimento científico em direção à capacidade de julgamento racional e autônomo do conhecimento, assim como para moldar a transformação em direção ao desenvolvimento sustentável.

Crioni e Zuin (2020) argumentam que as questões socioambientais são um ponto de maior urgência, quando falamos em educação científica, especialmente, para formação inicial de professores. A Educação em Química deve ser considerada, de forma crítica, para promover a consciência e o engajamento em questões sociais, econômicas, tecnológicas e ambientais, relacionadas à química.

Considerando um processo formativo para inserção dessas práticas, os licenciandos em química, organizados em grupos, desenvolveram suas propostas experimentais, acerca dos temas¹⁹: funções orgânicas, indicadores ácido-base, tabela periódica, poluição e combustíveis, assim como disposto no Quadro 13:

¹⁹ Os temas foram sugeridos pela Coordenação Pedagógica da ETEC do Estado de São Paulo, na qual as propostas experimentais foram aplicadas.

Quadro 13 - Temas e experimentos por grupos.

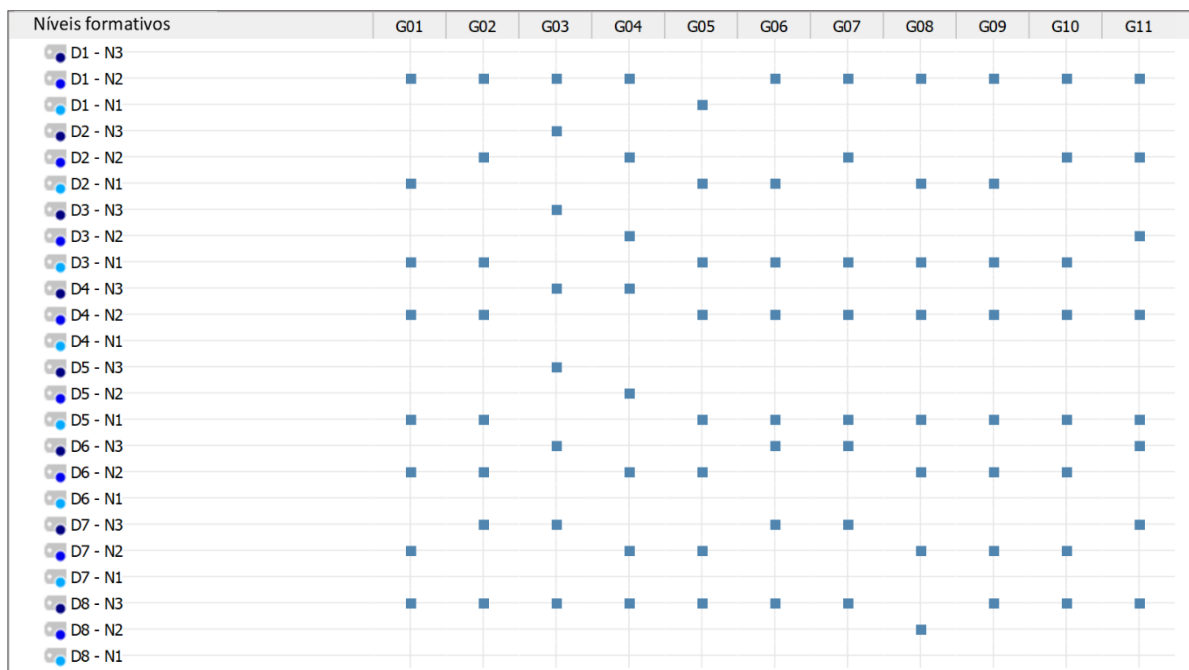
GRUPO	TEMA	EXPERIMENTO	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO ²⁰
G1	Funções Orgânicas	Síntese de um óxido	Reações envolvendo óxidos, através da produção do óxido de magnésio (MgO) e sua caracterização incluindo reações ácidos base.
G2	Indicadores ácido-base	Montando uma escala de pH com soluções do cotidiano	Construção de uma escala de pH utilizando solução indicadora natural e relacionar com o conteúdo teórico.
G3	Poluição	O bioplástico é tech, é pop, é tudo?	Produção e testes de bioplásticos por meio de materiais não-convencionais frente ao contexto da poluição atmosférica por microplásticos.
G4	Poluição	Síntese de bioplástico	Produção de bioplástico a partir de matérias comuns de fontes renováveis.
G5	Indicadores ácido-base	Testando o pH de diferentes materiais de uso doméstico	Introdução da teoria dos conceitos ácidos e bases e pH, na digestão no corpo humano.
G6	Tabela Periódica	Orégano Fújão	Demonstração da relação da polaridade da molécula, inserindo aspectos da propriedade periódica da eletronegatividade, o conceito de ligação de hidrogênio e tensão superficial.
G7	Tabela Periódica	Bolhas mais resistentes	Análise da ação das forças intermoleculares.
G8	Tabela Periódica	Caracterização de Amostras	Caracterização de amostras de materiais a partir de propriedades como: condutividade elétrica, cor, brilho, cheiro, maleabilidade e propriedades ferromagnéticas.
G9	Tabela Periódica	Separação de uma mistura por meio de suas propriedades físicas	Identificação de metais através da determinação de suas densidades.
G10	Indicadores ácido-base	Determinação de pH de amostras de solo da região de São Carlos	Realização da determinação do pH de diferentes amostras de solo.
G11	Combustíveis	Alimentos como combustíveis para o nosso corpo	Análise da quantidade de calorias de alguns alimentos comumente consumidos.

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

²⁰ A descrição das propostas experimentais foi elaborada pelos grupos correspondentes.

As propostas experimentais foram analisadas, de forma a verificar as Dimensões Formativas, em seus níveis correspondentes (Figura 4), assim como o contraste das concepções iniciais apresentadas pelos estudantes.

Figura 4 - Distribuição dos níveis formativos das propostas experimentais por grupo.



Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

Em análise, verificamos que dezoito estudantes apresentaram, inicialmente, uma concepção alinhada a uma visão dicotômica da relação teoria-prática, na qual o experimento é compreendido como a demonstração prática da teoria, como é possível observar nas falas:

A prática experimental seria colocar em prática o que eu aprendi no teórico. (S21 – G11)

É aprender na prática o que a gente aprende na teoria. (S16 – G7)

Essas concepções refletem, de modo geral, em como a atividade laboratorial está sendo apresentada, como práticas que confirmam pressupostos teóricos, pautadas na produção de resultados ausentes de reflexão e que desconsideram a historicidade de sua produção, se caracterizando, de acordo com Gonçalves e Marques (2013), como uma atividade absolutamente neutra, linear, acumulativa e destituída de quaisquer juízos de valor.

No entanto, apenas o Grupo 05 organizou e desenvolveu sua prática experimental do tipo expositiva (D1-N1), a qual requer dos estudantes, apenas, processos cognitivos de conhecimento, lhes oportunizando apenas elaborar conclusões acerca de questões conceituais, inicialmente levantadas, ao realizar o experimento. Também foi observado que além do problema e procedimento os licenciandos também já indicavam os possíveis resultados que poderiam ser encontrados durante a realização da prática experimental.

As propostas experimentais, desenvolvidas pelos demais estudantes que apresentaram a mesma visão, superaram a concepção inicial da experimentação como uma atividade absolutamente neutra, linear, acumulativa e destituída de qualquer juízo de valor (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004; GONÇALVES; MARQUE, 2013; ZUIN; ZUIN, 2017; ANDRADE; ZUIN; ORLANDI, 2019). De fato, é identificado, de acordo com Adorno (2010), que a consciência se fez contínua no processo de elaboração e execução das práticas experimentais, implementando todas as discussões sobre os conceitos de Química Verde e Sustentável, ecotoxicologia, *design* benigno, recursos e economia circular, de modo que as informações/conhecimentos superaram a simples reprodução instrumental.

Dessa forma, é observada, durante o processo formativo, uma superação ao contexto apresentado. Vistas agora como uma mediação entre a filosofia da ciência, o conhecimento químico e a prática científica, em química, para que ocorra a ruptura da visão ingênua da relação teoria-prática no ensino dessa ciência.

Diante desse contexto, foram identificadas dez propostas experimentais com uma abordagem experimental investigativa-guiada, correspondendo ao nível formativo N2, na qual o problema e os procedimentos são fornecidos como um roteiro ou verbalmente antes/durante o desenvolvimento da atividade. Nesse nível, os estudantes realizam previsões e analisam resultados, de modo a requerer mais atenção e esforço intelectual.

Mesmo fornecendo os procedimentos, esse tipo de abordagem requer, do estudante, processos cognitivos de compreensão e aplicação do conhecimento, permitindo-lhe a tomada de decisão quanto a resolução da situação-problema, apresentada como ponto inicial do experimento e as conclusões. O papel dos licenciandos, como mediadores desse processo, foi

fundamental para incorporar novos elementos, durante a execução do experimento, para construir significados mais profundos e problematizados.

Mesmo não apresentando alto nível de abertura, trata-se de uma organização didático-experimental apropriada, principalmente, para a elaboração de práticas voltadas para a educação básica, sobretudo, quando são desenvolvidas integradas a situações problemas (G02, G03, G11), ou estudo de caso (G01, G09).

A abordagem investigativa-guiada direciona os estudantes a um processo formativo para a construção do conhecimento científico, pois há uma consciência da necessidade do envolvimento ativo de situar o processo em um contexto de investigação, como também a necessidade de abordar o conhecimento em situações reais e dentro do seu contexto.

Três estudantes alinharam sua concepção inicial sobre a experimentação ao processo que deve possibilitar a construção do conhecimento, de forma ativa e através de interações com o ambiente, além de fundamentar-se, em práticas experimentais, com níveis maiores de abertura, como podemos observar nas falas:

Acredito que é uma atividade com um caráter mais investigativo e prático, que não necessariamente precisa envolver o laboratório, mas instrumentos de pesquisa. (S12 – G5)

Eu definiria como uma atividade em que o aluno está mais ativo do que em atividades comuns. (S11 – G10)

No entanto, ao materializar suas concepções, o licenciando S12 junto ao seu grupo, elaborou uma proposta experimental, do tipo expositiva, e os estudantes S15 e S11 desenvolveram abordagem experimental investigativa-guiada. O processo entre as concepções apresentadas e o que foi vivenciado pelos licenciandos pode ser compreendido a partir do conceito de experiência e memória (ADORNO, 2010; BENJAMIN, 1991; 1994c).

Nesses termos, consideramos que as concepções iniciais dos licenciandos não foram estabelecidas a partir de uma experiência, mas foram produtos de uma memória voluntária que se encerrou ali, no momento da entrevista. Assim, ao elaborar e desenvolver a proposta experimental (presente), os licenciandos não conseguiram colocar em prática suas concepções iniciais (passado). A ausência da imagem dialética entre passado e presente não viabilizou, de

acordo com Benjamin (1994b), uma renovação autêntica do conhecimento, mas uma galvanização, resultando em uma experiência truncada sem uso da profundidade da memória.

Em relação a Natureza do Problema para a elaboração da prática experimental, inicialmente, todos os estudantes afirmaram que seria possível elaborar uma prática a partir de um problema sociocientífico. No entanto, das 11 propostas experimentais desenvolvidas, apenas uma proposta (G3) foi pensada, estruturada e desenvolvida a partir de uma natureza problematizadora. Essa proposta abordou os impactos ambientais e sociais, oriundos da poluição por materiais poliméricos sintéticos, apresentando a produção de bioplástico como alternativa a esse problema e foi didaticamente organizada e desenvolvida a partir de um *WebQuest*²¹ (Figura 5).

Figura 5 - WebQuest “O bioplástico é tech, é pop, é tudo?” elaborado pelo Grupo G03.



Fonte: Proposta experimental do grupo G03 (2019).

A atividade prática desenvolvida por esse grupo dialoga com as concepções iniciais apresentadas pelos seus integrantes, de modo que os eixos centrais do processo formativo – continuidade e temporalidade – se afirma. Portanto, o processo de ensino e aprendizagem oportunizou não apenas a construção do conhecimento científico, mas o estabelecimento da formação crítica, principalmente, quanto a continuidade da relação dialética entre sujeito e

²¹ O *WebQuest* desenvolvido durante a disciplina de Experimentação na Educação Química pelos licenciandos sob orientação da autora e da professora da disciplina pode ser acessado através do link <https://tgpedroza.wixsite.com/webquestbioplastico>

objeto, formados através da experiência, pela mediação entre eles. Logo, para essa dimensão, o experimento apresenta nível formativo N3, ao enfatizar uma educação baseada em questões sociocientíficas e ao ser observado um maior envolvimento e argumentação dos estudantes da Educação Básica que participaram dessa proposta experimental.

Portanto, o nível formativo identificado aponta que o indivíduo está passando do estágio primitivo da consciência ingênua sobre as implicações científicas dos conceitos ensinados e apreendidos, para o status de consciência crítica (ZUIN; PUCCI; OLIVEIRA, 2012).

Cinco grupos buscaram situar o conhecimento específico da química a contextos sociais, ambientais e tecnológicos para introduzirem a prática experimental, correspondendo ao nível formativo N2. Esse resultado está alinhado às concepções iniciais apresentadas pelos estudantes quando questionados sobre a utilização de problemas sociocientíficos para abordar o experimento, como podemos observar nas falas abaixo:

Sim, com certeza. Para contextualizar com os alunos os conceitos que serão abordados. (S13 -G10)

Sim. Talvez relacionando um tema social ou ambiental com a química que seja mais próximo dos alunos. (S10 – G04)

Podemos descrever, como exemplo, a natureza do problema contextual, desenvolvida pelo Grupo G4, que apresentou, além dos conceitos básicos quanto à ciência dos polímeros, polímeros naturais/sintéticos e a fabricação de plásticos, a relação entre plásticos e meio ambiente, sobretudo, quanto aos problemas ambientais, causados pelo consumo exagerado e descarte irregular desses materiais.

Essas questões levantadas pelo grupo oportuniza a discussão sobre as evidências de que o modelo atual de produção tem papel central na degradação ambiental. Sob uma perspectiva crítica da sociedade (HORKHEIMER, 1991; ADORNO, 1995), podemos considerar que os licenciandos organizaram uma situação didática que levou os estudantes ao ato de pensar a realidade. No entanto, para promover a emancipação individual e coletiva, é necessário levar o estudante para além do ato de pensar, ou seja, é necessário colocá-lo em situações de aprendizagem que requerem a compreensão do seu papel em seu contexto sócio-histórico.

A atividade experimental, nesse contexto, possibilitou apenas o desenvolvimento de processos cognitivos de análise e interpretação do conhecimento incorporado. No entanto, a

tarefa da educação não é adaptar o indivíduo ao mundo, mas proporcionar habilidades criativas e consciência crítica para se compreender mecanismos sociais que determinam o modo como os próprios experimentos científicos são ensinados e divulgados.

Os grupos G1 e G9 propuseram o desenvolvimento da problematização do experimento como um estudo de caso em formato de atividades em pequenos grupos²². A escolha por essa abordagem pode ser identificada a partir das concepções iniciais, de alguns dos integrantes dos grupos, sobre a utilização de problemas sociocientíficos para abordar o experimento:

Acredito que sim. Iniciaria com uma pergunta aberta, a partir de um estudo de caso (S01 - G01)

Tudo é possível, mas se vai dar certo ou não, aí teria que ver na prática. Seria legal fazer um estudo de caso, com a parte experimental. (S22 - G09)

No entanto, foi observado, durante a aplicação dos experimentos, que esses grupos tiveram dificuldades em desenvolver essa abordagem durante a aula. No que se refere ao grupo G1 (Figura 6), os licenciandos não oportunizaram aos estudantes um momento de discussão sobre os elementos que envolveram o caso. Foi observado uma preocupação dos licenciandos com o tempo da aula e com os conceitos que envolviam o experimento. Nesse contexto, os licenciandos perderam o seu papel de facilitador/mediador do conhecimento e passaram a exercer um papel diretivo. Adorno (2010), ao discutir sobre o entendido e experimentado, medianamente, já tem nos alertado sobre o risco de o conhecimento entrar em um estado formativo pontual, fragmentado e desconectado.

O grupo G9 (Figura 7), não utilizou o estudo de caso que tinha preparado. Ao serem questionados, ao final da aula, sobre o porquê de não terem utilizado o estudo de caso, os licenciandos afirmaram que não estavam preparados para aplicar o respectivo estudo, pois não tiveram tempo para estudar melhor a aplicação dessa abordagem e, portanto, não saberiam, ao certo, como conduzir a aula nesse formato. Benjamin (1994b) já tem sinalizado que os

²² O formato de atividades em pequenos grupos: os casos são histórias que devem ser solucionadas. Uma característica essencial é que os casos são analisados por grupos pequenos de estudantes, que trabalham em colaboração. Os estudantes leem parte do caso em voz alta, a seguir discutem os elementos apresentados até aquele ponto no caso, listam o que já sabem e elaboram uma agenda de aprendizagem, ou seja, um conjunto de assuntos que eles concordam em pesquisar individualmente antes do encontro seguinte. Este processo se repete até a resolução do caso. O professor, neste contexto, desempenha um papel de facilitador durante as discussões, em vez de um papel didático e diretivo (SÁ; FRANCISCO; QUEIROZ, 2007, p.732).

indivíduos não têm buscado aspirar novas experiências. Assim, a experiência dá lugar à vivência, a qual não conecta os indivíduos aos elementos do passado individual e coletivo, e nisso, reside sua pobreza.

Diante dessas necessidades, é necessário que abordagens didáticas, como o estudo de caso, tenham seus fundamentos teóricos e metodológicos discutidos, de forma crítica e consciente, durante a formação dos licenciandos (ANDRADE et al., 2019). Dito de outra maneira, é necessário que as vivências, no processo formativo dos licenciandos, sejam metamorfoseadas em experiências, para que o conhecimento seja estruturado em um movimento dialético tempo-espço para o estabelecimento de formação crítica.

Figura 6 - Estudo de caso síntese de óxido desenvolvido pelo Grupo G1.

Síntese de um óxido

Durante uma das aulas de história, o professor Elvis estava passando para seus alunos algumas fotografias antigas, e no decorrer da aula, Pedrita, uma aluna do ensino fundamental, fez um questionamento interessante: Como eles tiravam fotos em locais escuros? Já existia o flash?

Portanto, o professor Elvis entrou mais a fundo nesse assunto, explicando para os alunos que o primeiro flash fotográfico similar ao que temos hoje em dia surgiu no ano de 1931, mas em 1970 começou a ser difundido. Então, como eram feitos os flashes de antigamente?

As primeiras experiências para o desenvolvimento de um flash fotográfico aconteceram em 1860, com barras de magnésio, gerando óxido de magnésio, o que permitiu registrar acontecimentos em minas, cavernas e etc.

Pedrita ficou intrigada, pois queria entender qual era o papel do magnésio, e criou diversas teorias a fim entender o que se fazia antigamente, porém não chegou a nenhuma conclusão, já que não entendia como era possível combinar o oxigênio a um metal.

Com base nas informações descritas no relato, ajude Pedrita a entender as reações que possibilitou o desenvolvimento de um flash fotográfico, você acha que é possível gerar um óxido a partir de um metal? Como você faria isso?

Fonte: Proposta experimental do grupo G01 (2019).

Figura 7 - Estudo de caso síntese de óxido desenvolvido pelo Grupo G9.

É ouro?

Dylan, um adolescente de 17 anos, foi viajar para a praia com seus pais e mais dois amigos Lisa e Bruce durante suas férias de julho. Em uma das tardes, resolveram fazer uma trilha até uma cachoeira que existia ali por perto. Ao longo do passeio prestavam atenção nos sons da floresta e na vegetação ao redor.

Após duas horas de trilha, finalmente chegaram à cachoeira e resolveram dar um mergulho. Ficaram ali se divertindo a tarde toda. Em dado momento, enquanto conversavam sentados às margens da pequena represa que se formava ao redor da cachoeira, Lisa encontrou uma pedra dourada e irregular que parecia ouro. Ao mostrá-la aos seus amigos, todos chegaram à conclusão de que era ouro sim.

Ao mostrar o achado para José, o pai de Dylan, ele afirmou que a pedra era o chamado *ouro dos tolos*, um mineral parecido com ouro, porém com outra composição química. Os adolescentes não quiseram acreditar nisso, mas não sabiam como provar para José que estavam certos.

Caso você estivesse junto com Dylan, Lisa e Bruce como tentaria provar ao pai de Dylan que a pedra encontrada poderia ser ouro?

Fonte: Proposta experimental do grupo G09 (2019).

Diante desse contexto, o estudo de caso não exerceu seu caráter controverso e problematizador, se apresentando, apenas, como uma introdução para o experimento. Dessa forma, a natureza do problema para a prática experimental, desenvolvida por esses grupos, é de Aplicação, nível formativo N1.

Os grupos G05, G06 e G08 também exibem nível formativo N1, por apresentarem apenas exemplos cotidianos/industriais de aplicação do conceito abordado ao introduzirem o experimento. Esse cenário pressupõe que a formação desses estudantes ainda está enraizada em uma educação baseada na estrutura da disciplina, focada no aprendizado do conteúdo conceitual químico, especialmente (ANDRADE; ZUIN; ORLANDI, 2019).

As implicações, filosófico-educacionais, para formação crítica, nesse contexto, evidenciam a necessidade de emergir diante das facilidades de um raciocínio que permanece

superficial (ZUIN; PUCCI; OLIVEIRA, 2012). De acordo com Praia e colaboradores (2002), a experiência científica se contrapõe a essa superficialidade quando seus resultados são lidos como elementos interpretativos do mundo e não cópias do real.

A promoção da alfabetização científica, dimensão formativa D3, oito propostas experimentais, estava alinhada à alfabetização conceitual (N1), reflexo das concepções apresentadas pela maioria dos licenciandos que estavam preocupados, exclusivamente, com fato da experimentação proporcionar, apenas, a aprendizagem do conceito baseado na estrutura da disciplina, em um processo de aprendizagem de ordem prática como sinônimo de demonstrar, comprovar ou verificar os conhecimentos teóricos e conceituais, como mostra as falas dos estudantes:

No processo de ensino eu acho que os experimentos facilitam com que os alunos compreendam os aspectos microscópicos, fica mais fácil para os alunos entenderem o que o professor quer mostrar (S01 – G1)

O contato com o laboratório dá mais clareza à teoria, melhora a visão do estudante sobre o conteúdo que o professor está falando (S06-G08)

Essas concepções valorizam a demonstração do conhecimento como meio apenas de comprovar a teoria. A ausência dialógica, entre teoria e prática, ocasionada pela ausência de uma reflexão conceitual sobre o conhecimento que lhe é apresentado, compromete a compreensão sobre a Química como conhecimento sócio-histórico construído. No entanto, o conhecimento deve compreender suas relações espaço temporais dentro dos sentidos histórico, social e humano (ZUIN; ZUIN, 2017), pois para desenvolver práticas laboratoriais sustentáveis, o sujeito deve se reconhecer como integrante de suas ações, das relações e dos vínculos temporais que estabelece.

As práticas experimentais não precisam ser compreendidas como atividades facilitadoras de aprendizagem conceitual, mas como um dos elementos desse processo (GONÇALVES; MARQUE, 2006). Dessa maneira, os conteúdos conceituais podem permear os experimentos, juntamente com outros tipos de conteúdo.

É importante evidenciar a ausência de conteúdos procedimentais e atitudinais nas concepções dos estudantes – o primeiro transcende as dimensões manipulativas em direção a procedimentos de caráter cognitivo e investigativo e o segundo permite ao estudante posicionar-

se perante o que aprende – os quais são aliados para se pensar a superação da semiformação na Educação Química, onde tem predominado a dimensão instrumental.

Diante dessas análises, gostaríamos de mencionar novamente o Grupo 01, como exemplo, que para essa dimensão também desenvolveu uma alfabetização conceitual. Apesar de ter utilizado um estudo de caso, um método que oportuniza o estudante a compreender fatos, valores e contextos, os licenciandos propuseram apenas uma alfabetização conceitual. Isso foi observado durante a aplicação da proposta experimental, na ETEC Paulista, em que os licenciandos, do grupo G01, se restringiram ao estabelecimento das reações químicas envolvidas na prática experimental e focaram, exclusivamente, nessas atividades, deixando o problema do estudo de caso de lado. Embora possuíssem um recurso didático que poderia viabilizar uma problematização, apenas requereram o desenvolvimento de conteúdos conceituais. Dessa forma, se limitando também ao nível formativo N1 pois, apesar de toda a problematização, buscou apenas requerer o desenvolvimento de conteúdos conceituais.

Na visão de Adorno e Horkheimer (1985), o conhecimento restringiu-se à sua repetição, pois as informações foram sobrepostas ao pensamento que definha sob o imediatismo e transforma-se em mera tautologia. No entanto, o trabalho experimental não estará preocupado na reprodução fiel do conhecimento, mas em oportunizar um momento de aprendizagem, pois, de acordo com Gruschka (2019), é pela contradição entre o que se afirma ser (teoria) e o que é na realidade (prática), que é possível reconhecer o conhecimento como uma construção sócio-histórica.

Os grupos G04 e G11 desenvolveram propostas alinhadas a uma alfabetização contextual, nível formativo N2. O Grupo G04, que mesmo apresentando uma abordagem experimental expositiva, como vimos na dimensão D1, tratou dos conceitos químicos relacionados à produção dos plásticos, de modo integrado a produção e ao consumo a partir do problema:

O plástico comum é um material que, além de provir de fonte não renovável de matéria, demora milênios para se decompor, causando grandes impactos ambientais se não descartado adequadamente. Por isso, atualmente faz-se necessária a utilização de uma tecnologia mais sustentável, ao plástico comum, como o bioplástico proveniente de materiais de fontes renováveis e biodegradáveis. Nesse contexto: é possível obter um plástico a partir de fontes naturais? (Proposta Experimental - Grupo G04).

Durante a aplicação da proposta experimental, com os estudantes da ETEC Paulista, observamos que os licenciandos buscaram trabalhar a problematização em todos os momentos da aula. Em seu início, a partir de uma discussão acerca da importância da utilização de materiais biodegradáveis, especialmente, substituindo o plástico comum e após a aplicação do experimento com questões como: “(I) qual a importância da utilização de materiais biodegradáveis? (II) o bioplástico poderia suprir o uso de plásticos convencionais em algum setor?” (GRUPO G4), observou-se o desenvolvimento de uma educação científica baseada nas interações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente e no favorecimento da compreensão da utilidade do conhecimento químico para a vida e atuação social responsável.

A Alfabetização Contextual também permite a compreensão da ciência Química e suas aplicações nas diferentes áreas do conhecimento. No caso do Grupo G11, que desenvolveu o tema “combustíveis”, foi aplicado o conceito de calorimetria, abordando as propriedades caloríficas dos alimentos, as funções fisiológicas, bem como a transformação dos carboidratos em energia e quais alimentos possuem maior energia. O desenvolvimento do experimento partiu da seguinte problematização:

Figura 8 - Problematização da proposta experimental do Grupo G11.

Em sua alimentação, você acredita que todos os alimentos fornecem a mesma quantidade de energia ao nosso corpo? Explique sua resposta.

Para melhor observar a quantidade de calorias nos alimentos iremos mostrar a seguinte notícia, publicada na revista EXAME, de Maio de 2014, escrita por Luciana de Carvalho.

Onde podemos comparar alguns alimentos que são utilizados em nossa alimentação em lanches rápidos e em viagens.

VIP – ESTILO DE VIDA

Pringles? Doritos? Lindt? Comida de avião engorda fácil

Especialista em nutrição avaliou o quanto seria preciso caminhar para queimar as calorias servidas a bordo pelas companhias aéreas, de amendoim a pizza de pepperoni

Por **Luciana Carvalho**

© 13 set 2016, 15h11 - Publicado em 21 maio 2014, 10h40

Será que é possível ter uma alimentação saudável consumindo apenas produtos industrializados?

Você sabe quantas calorias esses alimentos possuem?

Fonte: Proposta experimental do grupo G11 (2019).

Portanto, observamos que, ao desenvolver a proposta experimental, os licenciandos do grupo G11 buscaram aplicar os conceitos químicos de calorimetria em alimentos/*snacks* comumente consumidos, como chips de batata frita e amendoim, viabilizando, assim, uma alfabetização contextual à medida que lida com aplicações cotidianas e contextualizadas dos conceitos químicos.

Dessa maneira, esse nível formativo permite, aos estudantes, compreenderem os impactos da ciência e da tecnologia em suas vidas cotidianas (ROBERTS, 2007) à medida que lida com aplicações cotidianas e contextualizadas dos conceitos químicos.

Das onze propostas, apenas a do grupo G03 oportunizou o desenvolvimento de uma alfabetização crítica, nível formativo mais alto, N3. Isso foi possível pela organização didática do conhecimento feita pelos licenciandos, que oportunizou aos estudantes a função de protagonista sob seu processo de aprendizagem. Portanto, observamos um processo didático orientado a uma aprendizagem para o "saber-ação", visto que foram os próprios estudantes que selecionaram as fontes de informações - a partir dos materiais didáticos propostos pelos licenciandos por meio do *WebQuest* - para o momento de debate em grupo e resolução do problema.

Ao colocar o estudante em um momento de discussão com seus pares, o processo de ensino permite a transformação orientada de valores, tanto individuais, quanto sociais, uma vez que a discussão organizada permite aos estudantes escutarem, refletirem e se posicionarem sobre as diferentes informações e pontos de vista sobre o mesmo assunto.

Esse momento de aprendizagem é compreendido como um caminho para a formação de sujeitos capazes de atuar, minimamente, como consumidores e cidadãos, o que, paralelamente, permite modelar, ativamente, a sociedade futura de forma sustentável (EILKS, SJÖSTRÖM, ZUIN, 2017; LAUGKSCH, 2000; MARKS; EILKS, 2009).

Em relação a avaliação da aprendizagem D4, apenas os grupos G3 e G4 integraram uma avaliação formativa, em sua proposta experimental, nível formativo N3. O Grupo G04 realizou essa integração a partir de alguns questionamentos, nos quais, para responder, os estudantes tiveram que buscar uma resolução estratégica a partir da seleção do conteúdo e das observações feitas durante a realização do experimento. As perguntas se debruçaram sobre os conteúdos de

avaliação conceitual, procedimental e atitudinal (ZABALA, 2010) centradas essencial, direta e imediatamente sobre a gestão das aprendizagens dos alunos.

O Grupo 03 realizou o processo avaliativo em diferentes formatos. Durante o processo, no momento da realização do debate, foi observado o desenvolvimento da capacidade da habilidade de conhecimento e seleção do conteúdo e esquema de atuação para a resolução das questões levantadas nas discussões. Também foi observado, durante o processo de discussão, a resolução flexível e estratégica dos grupos em relação às respostas sobre a situação-problema apresentada. Ao final do processo, foi proposto um *Quiz*²³ através da plataforma *Kahoot!* (Figura 9) e realizado um *feedback* por meio da aplicação de uma autoavaliação²⁴ pela plataforma *Google Forms*.

Figura 9 - Pergunta realizada aos estudantes durante a aplicação do Quiz na plataforma *Kahoot!*



Fonte: Proposta experimental do grupo G03 (2019).

Os estudantes destacaram que, com o jogo, sentiram-se mais motivados e ativos na aprendizagem de conceitos voltados à sustentabilidade, Química Verde e produção de

²³ O Quiz foi desenvolvido durante a disciplina de Experimentação na Educação Química pelos licenciandos sob orientação da autora e da professora da disciplina e pode ser acessado através do link <https://kahoot.it/> e com o PIN: 123456.

²⁴ O formulário de autoavaliação foi desenvolvido durante a disciplina de Experimentação na Educação Química pelos licenciandos sob orientação da autora e da professora da disciplina e pode ser acessado através do link <https://bit.ly/3xx1YeT>

bioplásticos. O *Kahoot!*²⁵ se configurou como instrumento colaborativo no processo de aprendizagem integrado à prática experimental.

O processo avaliativo desenhado está de acordo com Boas (2011), ao fornecer *feedback*, tanto para os professores, quanto para os estudantes, com a função de ajudá-los a promover ajustes que atendam os propósitos curriculares almejados, assim como lhes dirige a uma autorreflexão crítica (Adorno, 1995b) que permite a produção de uma consciência sobre os obstáculos e condicionantes que conduziram o processo de ensino e aprendizagem.

Portanto, os modelos avaliativos aplicados pelos grupos G04 e G03 conduzem a um processo que viabiliza a formação reflexiva autocrítica, potencializando uma resistência aos aspectos aos aspectos instrumentais do conhecimento do pensamento e dando um salto na superação do senso comum sobre as questões socioambientais, nos processos de ensino e aprendizagem (SUDAN; ZUIN, 2018).

Nove propostas experimentais foram desenvolvidas sob a função somativa da avaliação. Observamos na prática do Grupo (02), por exemplo, a influência do pensamento instrumental que permeia o processo de ensino e aprendizagem:

As quatro perguntas foram realizadas após o experimento para que se pudesse avaliar mais precisamente se o experimento foi bem-sucedido. (GRUPO G02)

Do mesmo modo, identificamos uma preocupação em analisar a capacidade dos estudantes de discutirem os resultados do experimento, como podemos analisar nos relatos abaixo:

Para métodos avaliativos os alunos tiveram que preencher a tabela periódica incompleta e em seguida foi corrigido na lousa, perguntando aos grupos quais foram os elementos presentes nas amostras. (GRUPO G08)

Ao final do experimento foi aplicado um questionário sobre a prática e sobre a teoria, os alunos fizeram o cálculo sobre calorimetria, para saber qual o calor específico das amostras. (GRUPO 11)

²⁵ *Kahoot!* é uma plataforma online de aprendizado baseada em jogos. Seus jogos de aprendizado podem ser de múltipla-escolha, verdadeiro/falso, pesquisa, slide, quebra-cabeça; cabe ao professor escolher o conteúdo e o/os tipos de perguntas de acordo com o conceito a ser discutido com os estudantes.

Portanto, por meio de resolução qualitativa, ou quantitativa, a avaliação implicará em verificar se o aluno adquiriu habilidades cognitivas (GUBA E LINCOLN, 1989; HAYDT, 1997), resultando no segundo nível formativo.

O nível formativo N1 não foi identificado em nenhuma das propostas experimentais, o que nos leva a considerar que os licenciandos não estavam visando, exclusivamente, a exatidão de reprodução das informações transmitidas durante a realização da aula experimental, mas com a aprendizagem dos estudantes.

Ao levar os estudantes a refletirem sobre as características de um experimento que viabilize o Desenvolvimento Sustentável, seis deles não conseguiram apontar características de um experimento para ESD:

Eu não tenho a menor ideia, não consigo nem pensar em quais características um experimento teria que ter (S22 – G09)

Essa pergunta eu não sei responder (S04- G11)

Agora não consigo pensar em nada. (S07-G6)

Essas concepções retratam um cenário preocupante, visto que o estabelecimento da ESD, através da experimentação, pode constituir uma construção de uma abordagem química mais adequada para formação crítica. Essas concepções também sinalizam a fraqueza, em relação ao tempo e à memória desses licenciandos, uma vez que os elementos que envolvem uma ESD foram discutidos durante a disciplina de Química Verde.

Nove estudantes apresentaram, como característica de um experimento para o desenvolvimento sustentável, a adoção dos princípios da Química Verde:

Um experimento que adotasse os princípios da química verde, eu acho que é isso. (S08-G2)

Eu caracterizaria com os princípios, seria por aí. (S17-G2)

Acho que através dos princípios, como o da redução da quantidade de reagentes nos experimentos, eu relacionaria com a Química Verde. (S03- G7)

A adoção da Química Verde, em práticas experimentais, é um modelo de aprendizagem que tem a preocupação apenas na alteração de experimentos tradicionais, de acordo com os princípios da Química Verde. Nesse modelo, assim como na teoria tradicional, “a gênese social dos problemas, as situações reais, nas quais a ciência é empregada e os fins perseguidos em sua

aplicação, são consideradas exteriores” (HORKHEIMER, 1991, p.69). Nesses termos, o desenvolvimento sustentável é apresentado dissociado da sua concepção sócio-histórica, ou seja, sem levar em consideração a sua relação com o real.

Os sete estudantes que conseguiram apresentar características de um experimento para ESD afirmaram que o experimento deveria apresentar uma abordagem interdisciplinar a partir de questões sociocientíficas que impulsionam a educação em química, incluindo a base química do conhecimento e a reflexão social sobre sua aplicação prática, como é possível observar nas falas abaixo:

Eu classificaria um experimento como um experimento interdisciplinar pensando naquele estudo de caso que a gente propôs na matéria de Química Verde. (S15-G01)

O experimento teria que ter uma utilidade social maior, eu acho que caracterizaria esse experimento como útil e crítico socialmente, o aluno vai sair dali tentando aplicar aquilo que ele viu, não morre no laboratório. (S19-G10)

No entanto, cinco deles desenvolveram, com os seus grupos, propostas experimentais que centravam os seus objetivos no aprendizado do conteúdo químico e na incorporação dos princípios da Química Verde, assim como os nove estudantes que já tinham como concepção inicial a adoção da Química Verde como modelo de aprendizagem para a ESD. O resultado foi o desenvolvimento de nove propostas experimentais, com nível formativo N1, para os modelos de aprendizagem ESD, dimensão formativa D5.

Essas características evidenciam, de acordo com Gruschka (2015), um sistema que, didaticamente, busca apenas tornar os alunos proprietários do conhecimento. Em decorrência disso, os estudantes apresentam dificuldade em planejar e aplicar aulas práticas experimentais que proporcionem a construção de conhecimento para formação crítica sobre aspectos emancipatórios e dialógicos.

Maar (1995) argumenta a necessidade de romper com a educação como mera apropriação técnica do conhecimento, com fim em si mesma. Nesse sentido, Crioni e Zuin (2020) reforçam que as práticas didáticas, orientadas para formação crítica, devem incluir, além da competência técnica, a capacidade de compreender e discutir as questões políticas, econômicas, culturais e sociais que permeiam as questões ambientais para uma ciência responsável e justa em sociedade.

No entanto, o espaço para formação crítica, através da ciência como investigação crítica, está cada vez menor, pois tem se configurado como instrumentalização do ensino (GRUSCHKA, 2015). Essa distância crítica do conhecimento não assegura a formação integral do indivíduo e a sua integração esclarecida com o mundo. Outro problema está no slogan produzido pela indústria cultural sobre a sustentabilidade (ZUIN, ZUIN, 2012) que tem provocado, segundo os autores, um prejuízo, também, na dimensão da memória, à medida que as relações entre os pilares da sustentabilidade são volatilizadas.

Transformar experimentos tradicionais em experimentos orientados, de acordo com os princípios da QV, sem ênfase na complexa interligação entre ambiente, economia e sociedade, não contribui na aprendizagem para o Desenvolvimento Sustentável, mas apenas corrobora com a produção de vivências que não conseguem ir além de si mesmas, como é descrito por Benjamin (1994b).

Podemos apresentar, como exemplo, o experimento proposto pelo grupo G10, referente à construção de uma escala de pH, em que o objetivo central do experimento era:

Identificar o pH de um grupo de amostras a partir de um indicador universal produzido a partir de repolho roxo. (Grupo G10)

Nessa proposta, é realizada apenas a substituição de indicadores convencionais por um indicador natural, conferindo a incorporação da QV. No entanto, os estudantes foram, ao longo da construção, testagem e aplicação do experimento, capazes de reconhecer, comparar e refletir a implementação dos princípios da QV no novo desenho experimental.

Um movimento dialógico de mudança de atitude e a ampliação do conhecimento químico (BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012) são oportunizados, mas não lhes garantem habilidades que lhes permitam a tomada de decisão, frente ao desenvolvimento tecnológico sustentável, uma vez que não são engajados na natureza controversa da interação entre ciência, tecnologia e sociedade.

Pesquisas acerca da inserção da Química Verde para formação crítica, especialmente para a formação inicial de professores, evidenciam a importância de se analisar, criticamente, a literatura e os documentos curriculares nacionais para o estabelecimento de uma visão epistemológica contemporânea da Educação Química e para a produção de conhecimento sob

um processo contínuo de construção dialógica (ZANDONAI et al., 2014; ZUIN; PACCA, 2009; ZUIN et al., 2020).

Três estudantes pensaram o experimento como forma de incorporar questões de sustentabilidade como parte do conteúdo, em que a prática experimental é desenvolvida por meio de problemáticas locais, permitindo, aos estudantes, analisarem as interações econômicas, sociais e ambientais, de forma crítica (UNESCO, 2005b; 2005c), como podemos observar na fala abaixo:

Para mim o principal seria tratar de uma questão ambiental, por exemplo um desastre de impacto local ou global (S10-G4)

Essa concepção resultou na identificação de uma proposta com nível formativo N2, na qual é possível verificar a compreensão dos estudantes acerca da interação entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, tomando as questões de sustentabilidade parte do conteúdo, como ocorreu no Grupo G04, em que apresentaram, na problematização, uma relação entre plásticos e meio ambiente, apontando os problemas causados em decorrência do descarte irregular, principalmente, nos oceanos, correlacionando ainda com medidas políticas da proibição de sacolas e canudos plásticos e indicando práticas de reciclagem como uma possível forma de amenizar o problema.

As questões de sustentabilidade são incorporadas como parte dos conceitos químicos, no contexto adequado, para oferecer aos estudantes acesso às questões de sustentabilidade. Nessas abordagens, envolver o uso de um contexto social relevante nas práticas experimentais (ZUIN, et al., 2019), possibilita o desenvolvimento de habilidades gerais necessárias para participarem de debates sociais, sobre questões sociocientíficas emergentes, que não envolvam tomadas de decisões complexas.

Para o nível formativo N3, também foi identificada apenas uma proposta, a qual foi desenvolvida pelo grupo G03, em que apresentou um experimento acerca dos impactos ambientais e sociais, oriundos da poluição por materiais poliméricos sintéticos, apresentando a produção de bioplástico como alternativa a esse problema, o qual tinha como um de seus objetivos de ensino:

Identificar a importância da implementação de novos desenvolvimentos de biomateriais levando em consideração fatores como os materiais utilizados na produção e suas aplicações. (Grupo G03)

As atividades práticas desenvolvidas por esses grupos enfatizaram uma educação baseada em questões sociocientíficas, além disso, foi observado um maior envolvimento e argumentação dos estudantes da Educação Básica que participaram dessas propostas experimentais, ou seja, incluiu o conhecimento químico para a reflexão social sobre a sua aplicação prática.

Esse cenário permite que a formação esteja para além do laboratório, oportunizando a responsabilidade de contribuir para as decisões sociais e para o discurso sobre a química e, ao mesmo tempo, ajudar a desenvolver uma visão diferente, mais equilibrada e contemporânea da química na sociedade e na educação em química (EILKS; SJÖSTRÖM; ZUIN, 2017).

Portanto, o exercício do pensamento crítico dos conhecimentos químicos, para reflexão socioambiental, se torna o primeiro passo para que o Desenvolvimento Sustentável possa ser utilizado com o intuito de viabilizar o potencial emancipatório no processo de formação (ZUIN, ZUIN, 2012).

No que se refere ao *design* do experimento, D6, quatro propostas experimentais apresentaram um *design* sustentável. O alcance desse nível formativo pressupõe que esses estudantes estão aptos para desenvolverem um *design* para o ambiente, na concepção de produtos e processos, tendo medidas proativas que reduzam, ou eliminem, eventuais efeitos negativos no ambiente (CORREA; ZUIN, 2009; MACHADO, 2011; KÜMMERER; CLARK; ZUIN, 2020).

O Grupo G06, além de utilizar um modelo²⁶ para auxiliar na compreensão do fenômeno em estudo, o qual pode ser reutilizado por diversas vezes para aplicação do mesmo experimento, ou qualquer outro que utilize o conceito abordado por ele, utilizou as substâncias água, orégano e detergente, essas não apresentam nenhum risco ao meio ambiente ou à saúde humana. Na proposta experimental, o grupo apresenta medidas e cuidados no manuseio dos materiais e no descarte dos resíduos gerados. Enquanto outros grupos, como o Grupo G11, realizou o

²⁶ O modelo utilizado pelo grupo G06, como recurso a elaboração da sua proposta experimental, pode ser acessado pelo link: https://www.youtube.com/watch?v=7RxYTFu745I&ab_channel=FlinnScientific

experimento em microescala, utilizando pequenas amostras de alimentos (batata frita chips e amendoim) para que o processo de combustão ocorresse rapidamente, além disso, as substâncias utilizadas não apresentaram riscos.

Esses experimentos foram pensados e desenhados para simplicidade, proporcionando um *design* mais inteligente com a natureza (KARLSSON; LUTTROPP, 2006; ZANDONAI, et al., 2014; KÜMMERER; CLARK; ZUIN, 2020), em que promove um espiral de aprendizagem mais eficaz por interligar os aspectos ambientais ao desenvolvimento de conhecimentos cientificamente relacionados.

No entanto, sete propostas apresentaram um *design* verde que pode ser identificado, a partir da adaptação do procedimento experimental e da redução dos reagentes utilizados, tendo em vista a minimização dos impactos ambientais e da saúde dos sujeitos envolvidos.

Esse cenário é reflexo das concepções iniciais dos estudantes, os quais, em sua maioria (13), reduziram a aplicação da Química Verde apenas à promoção de alternativas menos perigosas de fazer os mesmos processos, principalmente quando é atribuída a substituição de substâncias tóxicas por outras menos perigosas ou naturais, como podemos observar na fala dos estudantes:

Eu acredito que para aplicar a Química Verde tem que se pensar no que vai usar e adaptar o experimento. (S11-G09)

Acho que é você pensar em uma forma de você reduzir: substâncias, rotas, água, energia, pensar em uma forma de você reduzir tudo isso. (S02-G05)

Eu acho principalmente que tem muita reação que a gente pode trabalhar com menos reagentes. Por exemplo, você pode elaborar um experimento que seja eficiente e que não use tantos reagentes. (S09-G08)

As concepções apresentadas pelos estudantes, evidenciam o risco da Química Verde e Sustentável de se metamorfosear em um slogan (STEINHÄUSER et al., 2004; ZUIN, 2012), ou seja, que os experimentos pensados e elaborados, considerando os princípios e filosofia da Química Verde e Sustentável, sejam reduzidos, apenas à promoção de alternativas menos perigosas de se realizar os mesmos processos, não estimulando discussão, reflexão e posicionamento crítico sobre sua filosofia e princípios, como foi possível observar no *design* dos experimentos em que esses estudantes participaram.

O Grupo G09, utilizando uma substância perigosa (o iodo) e na ausência de capela para seu manuseio, pensou em um desenho experimental da sublimação do iodo em que não oferecesse risco à saúde dos estudantes, realizando o procedimento em um frasco *schott*. Todo o resíduo formado foi recuperado e armazenado no laboratório da IES para reutilização.

O Grupo G05 atingiu esse nível a partir da diluição de reagentes convencionais, tornando a solução manuseada de baixo risco e tratando os resíduos por um processo de neutralização para o possível descarte na pia do laboratório. O Grupo G08 também recorreu à redução da concentração das substâncias, como foi o caso da Solução de HCl (4 mol/L), a qual foi determinada, a partir de testes no laboratório, com as amostras de metais que seriam utilizados na reação. Diferentemente do Grupo G05, os seus resíduos oriundos da reação em solução foram recolhidos e levados para Departamento de Gestão de Resíduos – DeGR da UFSCar.

Sudan e Zuin (2019) argumentam sobre a necessidade de reflexões socioambientais teórico-críticas para repensar os slogans no campo da Química Verde, da Sustentabilidade e do Desenvolvimento Sustentável, os quais colocam inúmeros obstáculos para efetividade nos processos formativos nessas áreas.

Não houve propostas experimentais de *design* tradicional, indicativo de um salto formativo dos estudantes, na organização do trabalho experimental e de um pensamento crítico, sobre como melhor conceber produtos e processos que sejam economicamente viáveis e ambientalmente seguros.

Em relação a Dimensão D7, reagente e produtos, seis propostas apresentaram nível formativo N2, reagentes e produtos de baixo impacto ambiental, devido a utilização de reagentes convencionais e que envolvessem riscos moderados à saúde e ao meio ambiente. Como exemplo, o Grupo G01, que utilizou reagentes convencionais como a fenolftaleína, o magnésio metálico e o HCl. Esse último, mesmo em baixa concentração, apresenta risco moderado à saúde, pelo fato de ser corrosivo e de possuir, como produto na reação, o $MgCl_2$, que pode ser descartado em lixo comum sem causar danos ambientais.

As outras cinco propostas indicaram o uso de reagentes e produtos verdes, os quais utilizaram reagentes que não envolveram riscos à saúde e ao ambiente, além de todos os

reagentes e produtos serem inócuos e utilizarem, ao menos, algum reagente natural. No caso do grupo G2, utilizou-se, em seu experimento, tanto produtos naturais (limão, repolho, leite, por exemplo), quanto produtos inócuos (shampoo, refrigerante, água, por exemplo). O Grupo G03 utilizou apenas produtos naturais, como limão e farinha de tapioca para produção do bioplástico.

A utilização de materiais naturais ou derivados de plantas de outras fontes biológicas renováveis, ou reciclados, é uma necessidade para inserção da Química Verde e Sustentável nas práticas laboratoriais (LENARDÃO et al., 2003; ZUIN et al., 2019) para que se tenha processos que visem eliminar resíduos, economizar recursos e minimizar os impactos ao meio ambiente (KÜMMERER; CLARK; ZUIN, 2020).

Essa preocupação, quanto às substâncias utilizadas nos processos químicos, é enfatizada, principalmente, ao ensino, quando se pensa na relação do conhecimento com a natureza (CRIONI; ZUIN, 2020). Para que os experimentos não gerassem substâncias perigosas, com pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente, mantendo os conteúdos conceituais e procedimentais que envolvem a prática (SAQUETO, 2015).

Sobre as concepções iniciais acerca da possibilidade de elaborar ou adaptar experimentos que gerassem menos resíduos, a maioria dos estudantes (21) respondeu que era possível, como indicado em suas falas:

Sim. Acho que principalmente o professor deve pensar qual o produto final de tudo isso, acho que não é simplesmente pensar o experimento em si, mas pensar em um experimento que você reutiliza o produto daquele primeiro. (S20 – G03)

Sim. Teria que ver quais reagentes e catalisadores são menos perigosos para trabalhar de forma sustentável. Também teria que fazer um planejamento do experimento para não se gastar tanto e não ter desperdício. (S07 – G06)

Sim. Procurar por reações que reaproveitem o produto final; diminuir a quantidade de reagentes, esse tipo de coisa. (S11 – G9)

Essas concepções referiram na dimensão formativa D8, quando verificamos que dez propostas apresentaram resíduos verdes (N3), isso devido ao fato de produzirem resíduos inócuos, como no caso do Grupo G03, em que o bioplástico produzido pode ser misturado ao solo, junto a restos de alimentos e folhas, tornando-se adubo e do Grupo G06 que pode descartar seus resíduos na pia. Como também pela total recuperação ou reutilização dos resíduos gerados,

como no caso do Grupo G09, em que todo o iodo utilizado na reação foi recuperado e armazenado para reutilização em outros experimentos.

Os elementos e informações que integravam as concepções dos licenciandos são aplicados no desenvolvimento de suas propostas experimentais. Essa ação, para Benjamin (1994c), é a formação de uma imagem dialética, que ocorreu à medida que os licenciandos colocaram suas concepções iniciais a serviço da reflexão, não só sobre o que aprenderam na disciplina de Química Verde, mas também sobre como esses conhecimentos poderiam ser aplicados na prática.

No entanto, apenas uma proposta experimental (Grupo 08) foi caracterizada por produzir resíduo de baixo impacto ambiental, uma vez que os resíduos gerados pela reação em solução de HCl apresentam riscos à saúde e ao ambiente, mas por esses resíduos estarem em pequena concentração e serem armazenados e encaminhados para descarte seguro, no Departamento de Gestão de Resíduos – DeGR da UFSCar, obteve nível formativo N2. Os estudantes desse grupo apresentaram, inicialmente, as seguintes concepções:

Sim, eu acho que é possível. Primeiramente a gente pode começar diminuindo as quantidades, trabalhando em escalas menores. (S09 -G08)

É difícil. Acho difícil refazer os procedimentos experimentais para diminuir os resíduos gerados. (S06 – G08)

Com esses resultados é evidenciado que as propostas foram direcionadas à implementação do princípio da prevenção (ANASTAS; WARNER, 1998), uma faceta pedagógica importante quando pensamos em um experimento didático.

De modo geral, podemos verificar que as propostas experimentais caminharam de forma a contemplar níveis formativos que mostram processos de aprendizagem em Química adequados à geração de consciência crítica, frente aos aspectos sociais e ambientais.

No entanto, na Dimensão D5, em que trata dos modelos de aprendizagem ESD, é possível observar o domínio de uma racionalidade instrumental, tão enfaticamente criticada por Adorno e Horkheimer (1995). Nessa dimensão, os conceitos químicos e os princípios da Química Verde, ao invés de servirem ao esclarecimento, colocam-se a serviço do conhecimento objetivo e prático, negando as premissas da preservação ambiental e da emancipação, fundamentais na formação cultural de um cidadão.

Superar a forma limitada de racionalidade sobre as questões socioambientais, condiciona ir contra as lógicas tecnocientíficas, essas que são normalmente instrumentalizadas, em laboratórios de ensino. A estratégia é desenvolver práticas experimentais que gerem uma relação dialética, historicamente dinâmica e que não se identifique com a produção e acumulação de conhecimentos.

Podemos dizer que a tarefa central da educação está em habilitar os indivíduos para atuação no contexto social e no seu próprio desenvolvimento crítico-reflexivo. A Educação em Química, nessa tarefa, tem um importante papel a desempenhar no processo formativo de uma consciência crítica, sobre os pilares para o Desenvolvimento Sustentável (social, econômico e ambiental), para o caminho de uma sociedade emancipada, solidária e ambientalmente sustentável.

Nesse contexto, é necessário apontar caminhos metodológicos que contribuam para o estabelecimento de um Laboratório de Química que promova experiências formativas, a partir de uma visão de experimentação que exija conhecimento histórico, ético e moral, social, econômico, tecnológico e ambiental. Assim, buscamos repensar a Experimentação para Educação Química em contraposição à semiformação e orientando-se para a formação crítica.

8 A EXPERIMENTAÇÃO FORMATIVA PARA A EDUCAÇÃO QUÍMICA

A importância acerca da realização de atividades práticas que oportunize o desenvolvimento de experiências formativas para o processo de ensino-aprendizagem em química, tem sido amplamente discutida (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004; LÔBO, 2012; ZUIN; ZUIN, 2017; MALDANER, 2000; LEACH, 2002; ZUIN et al., 2019). Essas discussões seguem em contraposição à tendência histórica, essa que insiste em considerar a Química uma ciência puramente prática e a ideia de que os experimentos são absolutos e autossuficientes, ou seja, seus conteúdos são regidos por uma lógica própria e sem relação alguma com as estruturas sociais que, na verdade, os originaram (ZUIN, 2012).

Portanto, não há possibilidade alguma de apartar as práticas laboratoriais da sociedade, na qual este tipo de prática didática se insere (CHASSOT, 2004; SANTOS; MALDANER, 2010), afinal, a experimentação é uma forma de representar o mundo e um mecanismo para a construção de uma consciência crítica sobre a realidade cultural, econômica, social, histórica e ambiental.

Diferente de outras atividades experimentais, o modelo experimental emergente dos estudos teóricos e empíricos, dessa pesquisa, foi pensado para a formação crítica. Para isso, foi estruturada a possibilitar o aprimoramento do raciocínio e das habilidades cognitivas dos estudantes, bem como a compreensão da natureza do conhecimento científico, além de abordar o conhecimento, em situações reais, dentro de seu contexto social, histórico e ambiental, promover a interdisciplinaridade e permitir a inserção de práticas verdes e sustentáveis.

Introduzir a Química Verde e Sustentável, por meio da sua filosofia e princípios, constitui um dos pilares centrais para a construção de uma abordagem experimental mais ampla na contemporaneidade e, portanto, adequada para se enfrentar as complexas relações, quando pensamos em ambiente, sociedade e educação.

Nesse contexto, as diretrizes científicas da Química Verde e Sustentável contribuem no estabelecimento da EDS, através da experimentação. Esse termo consiste na evolução socioeconômica da humanidade, de forma a não comprometer os recursos e necessidades das gerações futuras, através do reconhecimento da inter-relação entre seres humanos e o ambiente. Em concordância com Rauch (2015), a educação para tal é vista como chave, e deve focar em

conteúdos que encorajem os estudantes a participarem e refletirem as suas próprias ações quanto ao desenvolvimento sustentável.

A Experimentação, tomando o conceito de formação crítica na educação superior em Química (ERIKSEN, 2002; SJÖSTRÖM, 201; SJOSTROM; EILKS; ZUIN, 2016; ZUIN et al., 2019), vai além das “boas práticas de laboratório”, requer a incorporação de saberes e práticas laboratoriais que permitam o questionamento, a revisão e o desenvolvimento de abordagens mais adequadas à formação de profissionais com competências e habilidades técnicas e pessoais direcionadas à sustentabilidade.

Em ressonância com essa perspectiva formativa, os caminhos metodológicos, aqui desenhados, para a organização do trabalho experimental proporcionam um modelo de aprendizagem que inclui o conhecimento químico para uma reflexão social sobre sua aplicação prática.

Essa visão tem reflexo direto no alcance dos objetivos centrais para o desenvolvimento de práticas laboratoriais mais críticas (HODSON, 1992; 1993; 1994): aprendizagem das ciências como a aquisição e o desenvolvimento de conhecimentos teóricos; aprendizagem sobre a natureza das ciências em que o desenvolvimento da natureza e dos métodos da ciência tomam consciência das interações complexas entre ciências e sociedade; e a prática da ciência em que há o desenvolvimento técnico, ético, entre outros, sobre a investigação científica e a resolução de problemas.

A utilização do laboratório de química, atendendo a esses aspectos, situa o sujeito na construção do seu próprio saber, sendo de fundamental importância no Ensino Superior para atender as diferentes finalidades sociais da formação docente em Química.

Diante dessas perspectivas, a Experimentação Formativa pode se estabelecer em quatro fases, além da fase zero, evidenciando a ciência como resultado de uma construção humana e social.

8.1 FASE ZERO: APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA EXPERIMENTAL

A primeira fase é a proposição do problema aos estudantes. Nesse momento, os estudantes são organizados em pequenos grupos e é proposto o problema, o qual pode ser desenvolvido a partir de metodologias ativas, como por exemplo, a partir de estudo de caso (como os desenvolvidos pelos grupos G01 e G09) ou *WebQuest* (como desenvolvido pelo grupo G3). O importante é que o formato escolhido para apresentar o problema viabilize o desenvolvimento do conceito desejado e que adote questões sociocientíficas.

A natureza do problema deve estar contida na cultura social do estudante, ou seja, ser um problema local, mas também que possua escala global. Essa característica permite que o problema possa ser percebido e compreendido dentro dos contextos sociais, tecnológicos e culturais da construção e produção científica. A problematização mnemonicamente viabiliza, sob uma perspectiva de aprendizagem para o “saber-ação”, a aproximação dos conhecimentos que os estudantes já têm, provocando, de acordo com Benjamin (1991), que os elementos/conhecimentos passados que os estudantes já possuam sejam aprofundados e permaneçam, ainda que transformados.

8.2 PRIMEIRA FASE: EXPLORAÇÃO DAS IDEIAS E INSERÇÃO DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Após a exposição do problema, o estudante é convidado a explorar suas ideias. Nesse momento, eles precisam restaurar os conhecimentos já construídos para a compreensão de um novo fenômeno/conceito. E esse rememorar, de acordo com Benjamin (1994d), implica em um gesto ativo do sujeito.

Esse momento levará à geração de hipóteses para solucioná-las. Deve-se considerar a hipótese do experimento uma elaboração de caráter social, pois, de acordo com Horkheimer (1991), a relação de hipóteses e fatos não surge de forma separada da sociedade e de suas implicações práticas.

Nessa etapa, as hipóteses devem ser discutidas e analisadas coletivamente, juntamente com o professor, verificando a base química do conhecimento e a reflexão social sobre sua

aplicação prática. É importante destacar que as hipóteses, quando testadas, experimentalmente, forneceram substratos necessários para que o conhecimento se desenvolva e permaneça.

Nesse ponto, é importante destacarmos o papel do erro no processo de elaboração e testagem das hipóteses, o qual, de acordo com Bachelard (2005), não possui conotação negativa, mas é importante na construção do conhecimento, pois é a partir do erro que o estudante observa o que não deu certo e elimina variáveis que possam interferir na resolução do problema.

Nessa fase, de forma integrada, também consideramos necessária a inserção dos conceitos científicos fundamentais na resolução do problema, por considerarmos que nenhum desses pode ser resolvido sem os conhecimentos teóricos e práticos necessários e suficientes para orientar a sua resolução.

Essa ação permite continuidade à consciência, à medida que o estudante terá conhecimento teórico e prático para exercitar suas ideias sobre o problema, elaborar seu plano de ação e desenvolver um *design* experimental adequado à experimentação para o Desenvolvimento Sustentável. Esse momento caminha para o rompimento do estado informativo pontual e desconectado do conhecimento que Adorno (2010) apresenta como alguns dos problemas para o estabelecimento da experiência.

8.3 SEGUNDA FASE: DESENVOLVENDO DESIGN EXPERIMENTAL

A partir das hipóteses levantadas e do aprofundamento teórico acerca do conceito e suas relações, os estudantes são convidados a pensar, desenhar ou redesenhar um experimento simples, de conteúdo significativo e baixo, ou nenhum efeito negativo à saúde humana e ao meio ambiente que auxilie testar as hipóteses selecionadas e a responder o problema proposto.

Esse movimento direciona-se para o desenvolvimento de um *design* experimental que tenha as substâncias e materiais envolvidos renováveis, ou que possam ser reutilizados e que não apresentem riscos de acidentes à saúde e ao meio ambiente; que todo resíduo formado seja recuperado, ou reutilizado; que estabeleçam as medidas e os cuidados no manuseio dos

reagentes, produtos, equipamentos e resíduos e que inclua a base química do conhecimento, assim como a reflexão social, ambiental e econômica, sobre sua aplicação prática.

O *Design* pensado para um processo formativo se configura como um guia para a própria investigação, pois possibilita ao estudante um maior controle sobre a sua própria aprendizagem, sobre as suas dificuldades e de refletir sobre o porquê delas, para as ultrapassar. Além de inserir os aspectos sociais, econômicos e ambientais, esses que integram a elaboração e resultado do experimento.

É importante que esse guia possua, além da descrição do experimento e suas relações sociocientíficas, os riscos, porventura existentes e os cuidados a serem tomados para a condução da prática. Como também evidenciar os possíveis resíduos gerados e como irá tratá-los e descartá-los. Os resultados apresentados na seção sete mostraram que os grupos, ao estabelecerem esses aspectos em seus designers, não desenvolveram práticas experimentais que utilizassem reagentes e produtos que apresentassem riscos elevados para a saúde e o ambiente, assim como houve a preocupação em minimizar os resíduos gerados. Sendo assim, essa fase requer, dos estudantes, habilidade de conhecimento, seleção de conteúdo e esquema de atuação para resolução da situação problema.

8.4 TERCEIRA FASE: EXPERIMENTAÇÃO

De posse dos conceitos fundamentais e do *design* do experimento, os estudantes são inseridos na fase experimental, na qual as hipóteses estabelecidas são testadas e observadas. Como já mencionamos, é importante destacar o papel do erro (BACHELARD, 2005), considerando que não confirmar uma dada hipótese faz parte do processo de construção da ciência, assim como do processo formativo de aprendizagem.

Essa fase requer, dos estudantes, habilidades técnicas quanto à manipulação das vidrarias, reagentes e descarte dos resíduos assim como habilidades de liderança, a partir do pensamento crítico sobre a prática, comunicação e trabalho em equipe. Essas habilidades são necessárias para que essa fase se dirija a uma autorreflexão crítica (ADORNO, 1995b) sobre as hipóteses geradas e plano de ação desenvolvido.

Após a ação manipulativa, é realizada a fase de análise dos dados, a qual deve ser sustentada por uma base teórica orientadora da análise dos resultados. Os dados devem ser coletados e organizados, considerando uma resolução flexível e estratégica da resposta diante à situação-problema apresentada. De acordo com as observações no desenvolvimento das práticas experimentais dos licenciandos na Educação Básica, podemos considerar esse momento o mais difícil para os estudantes, tendo uma necessidade da mediação do professor para o estabelecimento da relação teoria-experimento.

O professor, nesse processo, rompe com os aspectos da autoridade pedagógica (HORKHEIMER, 1983), à medida que participa estimulando os estudantes a refletirem e opinarem sobre os conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais que estão desenvolvendo, para assim, orientar autorreflexões críticas e colocar o estudante como participante ativo na construção do seu saber.

Inicialmente, os resultados devem ser discutidos, internamente, entre os grupos e deve ser proposta uma solução inicial. Após a verificação de que todos os grupos apresentaram uma solução para o problema, o professor deve organizar a classe para um debate entre todos os grupos sob sua mediação. Essa organização requer a participação individual e social do estudante, viabilizando a construção de uma aprendizagem na mediação da continuidade e temporalidade.

8.5 QUARTA FASE: CONSTRUINDO EXPERIÊNCIAS FORMATIVAS

Nessa fase, os estudantes realizam uma reflexão crítica sobre os elementos que integram o processo teórico e empírico que envolve a prática experimental. Esse processo requer do estudante saber conceitual, procedimental e atitudinal para apresentação da resolução do problema na forma escrita.

A escrita é considerada, nesse processo, como um instrumento de aprendizagem que realça a construção do conhecimento em um processo de exercício e associação das informações vivenciadas e assimiladas. Aliada à oralidade, desenvolvida na fase anterior, perpassa os âmbitos individuais e coletivos na constituição da memória (BENJAMIM, 1985),

fornecendo substratos necessários para a continuidade da consciência sobre o conhecimento e suas relações.

Esse movimento permite, de acordo com Adorno (2010), que os elementos constituintes de cada fase sejam exercitados e penetrem na consciência, se fundindo em sua continuidade.

8.6 CONSIDERAÇÕES

As fases que compreendem a Experimentação Formativa possibilitam um processo de aprendizagem em que o estudante aprende a formar-se (SUAREZ, 2005), pois possui um **caráter prático e dinâmico**, permitindo ao sujeito a formação de si, pela formação das coisas; remete à **experiência** como substrato necessário para que o conhecimento seja aprofundado e permaneça e tem uma **natureza circular, cíclica e alternante** que permite o processo ser, ao mesmo tempo, progressão e retorno.

Essa estrutura, inevitavelmente, carrega consigo uma conjuntura que viabiliza, de acordo com Adorno (1995), uma educação que dirige para uma autorreflexão crítica; que tem a técnica como um meio para a construção do conhecimento e não como fim em si mesma; requer uma aprendizagem que ultrapasse a apropriação técnico instrumental e se dirija para relações sociais, históricas e ambientais que envolvem o conceito.

Portanto, a abordagem que emerge dos dados desse estudo é desenhada para uma mudança de um ensino algorítmico e transmissivo para processos que privilegiem o desenvolvimento de habilidades cognitivas de elevada ordem, ou seja, que caminhem de uma perspectiva educativa reduzida, ligada apenas aos aspectos analíticos, ecotoxicológicos ou tecnocientíficos ambientais restritos, para uma abordagem interdisciplinar, proporcionando uma experimentação crítica que coloca à disposição de alunos e professores, subsídios para desenvolver a capacidade de agir e pensar criticamente, considerando o potencial formador que a experimentação, sob esses moldes, podem trazer à Educação Química.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer desse estudo, buscamos responder como as práticas experimentais estruturadas, a partir de uma abordagem investigativa e orientadas pela Química Verde e Sustentável, possibilitam o estabelecimento de uma formação crítica no desenvolvimento da prática laboratorial no Ensino Superior. Além de contribuir para as discussões e desenvolvimento de práticas experimentais inovadoras, no campo da Educação Química, tendo em vista a necessidade de uma renovação no insuficiente ensino de ciências desenvolvido nessa área.

Os aspectos e as relações existentes entre a abordagem experimental investigativa, a Química Verde e a Educação para o Desenvolvimento Sustentável foram identificadas como a primeira via para o favorecimento de experiências formativas na prática laboratorial. Esse estudo inicial permitiu integrar os princípios que orientam o trabalho científico em Química com aqueles que orientam a Educação nessa área, resultando em uma métrica qualitativa - Dimensões Formativas para a Experimentação em Educação Química Verde e Sustentável - que se apresenta como uma ferramenta de avaliação qualitativa para ser amplamente aplicável, prática e abrangente, usada para visualizar os alcances e limites de atividades experimentais didáticas e melhorar o desempenho de experimentos, em uma perspectiva formativa orientada para formação crítica.

A métrica é um convite aos professores, estudantes e pesquisadores para avaliar, refletir e avançar na elaboração de experimentos que oportunizam momentos de aprendizagem, orientados à abordagem de aprendizagem crítica. Uma vez que a métrica é aplicável em diferentes tipos de experimentos; abrangente, captura os aspectos pedagógicos, científicos e ambientais; operacional, é aplicável e funcional e formativo, ao viabilizar um experimento que oportunize uma aprendizagem integral. Embora a métrica não deva ser vista como uma receita para o sucesso, ela serve como base para uma reflexão estruturada e estratégica na elaboração e avaliação de experimentos para auxiliar na formação sociocientífica.

A utilização dessa métrica também possibilitou verificar como as práticas experimentais, desenvolvidas pelos licenciandos do curso de Licenciatura em Química de uma IES Federal Paulista, estavam orientadas a uma abordagem investigativa e pelos pressupostos da Química Verde e Sustentável.

A tentativa de trazer os licenciandos para o planejamento e desenvolvimento de práticas experimentais, orientadas pela abordagem investigativa e pelos pressupostos da química verde, colocou-os fora de um processo tradicional de formação. O resultado foi um estranhamento e insegurança, por parte dos licenciandos, diante da elaboração de uma proposta experimental que trouxesse os elementos de uma abordagem experimental investigativa alinhada à filosofia, aos princípios da química verde e a um modelo de aprendizagem coerente com o desenvolvimento sustentável.

Esse contexto nos dá margem para colocar algumas questões acerca da experimentação na formação de professores: Uma disciplina é suficiente para preencher as lacunas formativas das concepções e práticas experimentais para uma Educação Química crítica? Qual o impacto na formação docente em química se a experimentação fosse desenvolvida durante as disciplinas de laboratório, sob uma perspectiva investigativa e integrada à Química Verde e Sustentável?

Ao olharmos para o processo vivenciado pelos licenciandos, observamos essa fragilidade, principalmente, sob as dimensões formativas que estão mais relacionadas aos aspectos educacionais, como a natureza do problema e a abordagem experimental, essas que foram desenvolvidas de forma mediana frente à implementação dos aspectos voltados à Química Verde.

Contudo, as práticas experimentais construídas e vivenciadas, pelos estudantes, caminharam para o estabelecimento de uma formação sociocientífica. Podemos considerar que o processo formativo, durante a disciplina, favoreceu a construção do conhecimento profissional docente para pensar e desenvolver práticas laboratoriais como práticas experimentais investigativas, verdes e sustentáveis.

Considerando as análises frente às propostas experimentais desenvolvidas pelos licenciandos e de posse de uma relação teórica entre as abordagens experimentais e a Química Verde e Sustentável, foi possível estabelecer uma orientação metodológica para o desenvolvimento de atividades experimentais, aqui denominada de Abordagem Experimental Formativa, a qual busca o desenvolvimento de uma formação crítica, através da transformação do pensamento, para uma consciência crítica sobre a ciência e suas relações sobre a realidade social, econômica e ambiental.

Situar o trabalho experimental desenvolvido no laboratório em um contexto sócio-histórico contemporâneo, é se contrapor, assim como a Teoria Crítica, à descrição neutra da realidade e das relações humanas para a construção do conhecimento científico.

Com base nos resultados, mesmo diante dos obstáculos enfrentados, a métrica Dimensões Formativas para a Experimentação em Educação Química Verde e Sustentável aliada à Abordagem Experimental Formativa se apresentam muito mais que ferramenta teórica-metodológica, que pode ser estendida para demais áreas das ciências da natureza, para construção de conceitos científicos, em vista à Educação para o Desenvolvimento Sustentável.

REFERÊNCIAS

- ADORNO, T. W. Educação após Auschwitz. In: Educação e Emancipação. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1995a. p. 119-138.
- ADORNO, T. W. Educação e Emancipação. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1995b.
- ADORNO, T. W. Teoria da Semicultura. Porto Velho: Edufro, 2005.
- ADORNO, T. W.; HORKHEIMER, M. Dialética do Esclarecimento. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1985.
- ADORNO, Theodor. W. Teoria da semiformação. Trad. Newton Ramos-de-Oliveira. In: PUCCI, Bruno. ZUIN, Antônio. A. S.; LASTÓRIA, Luiz A.C.B. (Orgs.) **Teoria crítica e inconformismo: novas perspectivas de pesquisa**. Campinas: Autores Associados, 2010.
- AFONSO, J. C.; NORONHA, L. A.; FELIPE, R. P.; FREIDINGER, N. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 602-611, 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000400027&lng=en&nrm=iso Acesso em: 04 jun. 2019.
- ALLAU, W. M.; SANTOS, A. J. R. W. A. Produtos químicos perigosos utilizados em laboratórios de ensino: proposta e exemplos para indicação de seus perigos no rótulo. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 8, p. 1267-1274, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000800028&lng=en&nrm=iso . Acesso 27 mai. 2019.
- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **About ACS**. 2019c. Disponível em: https://www.acs.org/content/acs/en/about.html?sc=180808_GlobalFooter_od Acesso em 26 de maio de 2020.
- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **Chemistry & Sustainable Development Goals**. 2019. Disponível em: <https://www.acs.org/content/acs/en/sustainability/chemistry-sustainable-development-goals.html> Acesso em 26 de maio de 2020.
- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **Green Chemistry History**. 2010. Disponível em: <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/history-of-green-chemistry.html> Acesso em 26 de maio de 2020.
- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **What Is Green Chemistry?** 2019b. Disponível em: <https://www.acs.org/content/acs/en/sustainability/chemistry-sustainable-development-goals.html> Acesso em 26 de maio de 2020.
- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: theory and practice**. New York: Oxford University Press, 1998.
- ANASTAS, P.T.; ZIMMERMAN, J. B. The United Nations sustainability goals: How can sustainable chemistry contribute? **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 13, p. 150-153, 2018.

ANASTAS, P; KIRCHCHOFF, M; WILLIAMSON, T. “Spinosad - a new natural product for insect control”, **Green Chemistry**, v1: G88, 1999.

ANDRADE, R. S.; ZUIN, V. G.; ORLANDI, A. S. Atividades práticas investigativas como meio para a promoção da experimentação na educação química. In: **Encontro de Educadores em Ciências**, 3. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2019.

ANDRÉ, M. E. D. A. Estudo de caso: seu potencial na educação. **Cadernos de Pesquisa**, n. 49, p. 51- 54, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14725-3: **Produtos químicos**: Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16725:2014: **Resíduo químico** - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente - Ficha com dados de segurança de resíduos químicos (FDSR) e rotulagem. Rio de Janeiro, 2014.

BACHELARD, G. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1978 a. (Os Pensadores)

BACHELARD, G. **Formação do espírito científico**. Contraponto: Rio de Janeiro, 2005.

BALLARD, E. C. PH-Controlled oxidation of an aromatic ketone: structural elucidation of the products of two green chemical reactions. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 2, p. 190-193, 2010.

BEACH, E.S.; CUI, Z.; ANASTAS, P.T. Green Chemistry: a design framework for sustainability. **Energy Environ Sci**, n. 2, p. 1038-1049, 2009.

BENJAMIN, W. **Charles Baudelaire**: um lírico no auge do capitalismo. São Paulo: Brasiliense, 1991.

BENJAMIN, W. O narrador: considerações sobre a obra de Nikolai Leskov. In: _____. **Magia e técnica, arte e política**. 7. ed. São Paulo: Brasiliense, 1994a. p. 197-221.

BENJAMIN, W. Experiência e pobreza. In: _____. **Magia e técnica, arte e política**. 7. ed. São Paulo: Brasiliense, 1994b. p. 114-119.

BENJAMIN, W. Sobre o conceito de história. In: _____. **Magia e técnica, arte e política**. 7. ed. São Paulo: Brasiliense, 1994c, p. 222-232.

BENJAMIN, W. O autor como produtor. In: _____. **Magia e técnica, arte e política**. 7. ed. São Paulo: Brasiliense, 1994d, p. 120-136.

BENJAMIN, W. Passagens. Belo Horizonte: UFMG; São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2006.

BERMAN, A. **Bildung et Bildungsroman. Le temps de la réflexion**, v. 4, Paris, 1984.

BIESTA, G. How general can Bildung be? Reflections on the future of a modern educational ideal. **Journal of Philosophy of Education**, v. 36, 377–390, 2012a.

BIESTA, G. Responsive or responsible? Democratic education for the global networked society. **Policy Futures in Education**, v. 11, p. 733–744, 2013.

BIESTA, G.. Have lifelong learning and emancipation still something to say to each other? **Studies in the Education of Adults**, v. 44, p. 5–20, 2012c.

BIESTA, G.. Becoming world-wise: An educational perspective on rhetorical curriculum. **Journal of Curriculum Studies**, v. 44, p. 815–826, 2012b.

BLACK P; WILLIAM D. The Formative Purpose: Assessment must first promote learning. In Wilson M. **Towards Coherence Between Classroom Assessment and Accountability**. Chicago: The National Society For The Study Of Ed, 2004. c. 2, p.20-50

BLUM, C; BUNKE, D; HUNGSBERG, M; ROELOFS, E; JOAS, A; JOAS, R; BLEPP, M; STOLZENBERG, H. The concept of sustainable chemistry: Key drivers for the transition towards sustainable development. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 5, p. 94-104, 2017.

BOAS, B. M. F. V. Compreendendo a avaliação formativa. In: BOAS, B. M. F. V. (Org.). **Avaliação formativa: práticas inovadoras**. Campinas: Papirus, 2011. c. 1, 13-42.

BODGAN, R.; BIKLEN, S. K. **Qualitative research for education**. Boston: Allyn and Bacon, Inc. 1982.

BOULDIN, R. M.; FOLCHMAN-WAGNER, Z. Chemistry of Sustainable Products: Filling the Business Void in Green-Chemistry Curricula. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 4, p. 647-651.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resoluções CONAMA. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Resolução CONAMA nº 358/2005 - “Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.” - Data da legislação: 29/04/2005 - Publicação DOU nº 084, de 04/05/2005, p. 63-65. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> . Acesso em: 29 mai. 2019.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química**. Brasília: Conselho Nacional de Educação/Câmara de Educação Superior, 2001.

BRENELLI, E. C. S.. A extração de cafeína em bebidas estimulantes: uma nova abordagem para um experimento clássico em química orgânica. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 136-138, 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000100023&lng=en&nrm=iso . Acesso 27 mai. 2019.

BURMEISTER, M; RAUCHB, FRANZ; EILKS. A, I. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, Inglaterra, v 13, p. 59–68, 2012. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2012/rp/c1rp90060a> Acesso em 15 fev. 2019.

BYBEE, R. Scientific literacy in environmental and health education. In A. Zeyer & R. KyburzGraber (Eds.), **Science environment health**. Towards a renewed pedagogy for science education, 2012. p. 49–67.

BYBEE, R. W. Achieving scientific literacy. *The Science Teacher*, Arlington, v. 62, n. 7, p. 28-33, 1995.

CAPECCHI, M. C. V. M. Problematização no ensino de ciências. In: CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CHARTER M.; TISCHNER, U. Sustainable solutions. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing; 2001.

CHASSOT, A. Ensino de Ciências na segunda metade do século da tecnologia. In: LOPES, A.C.; MACEDO, E. **Currículo de Ciências em debate**. Campinas: Papirus, 2004. p. 13-44.

COLLINS, T. Toward Sustainable Chemistry. **American Association for the Advancement of Science**, 291, n. 5501, 2001.

CONRADO, D.M.; NUNES-NETO, N. Questões sociocientíficas e dimensões conceituais, procedimentais e atitudinais dos conteúdos no ensino de ciências. In: CONRADO, D.M., and NUNESNETO, N. **Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas** [online]. Salvador: EDUFBA, 2018, pp. 77-118. ISBN 978-85-232-2017-4.

CORRÊA, A. G.; ZUIN, V. G. Introdução à Química Verde. In: _____. (Orgs.). **Química Verde: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EDUFSCar, 2009.

CRIONI, R.; ZUIN, V. G.. Environmental degradation: the urgency of socio-historical contextualisation and the contribution of non-hegemonic perspectives. **Policy Futures In Education**, v. 18, p. 1-15, 2020.

CUMMINGS, S. D. ConfChem Conference on Educating the Next Generation: Green and Sustainable Chemistry—Solar Energy: A Chemistry Course on Sustainability for General Science Education and Quantitative Reasoning. **Journal of Chemical Education**, v. 90, n. 4, p. 523-524.

CUNHA, R. B. Alfabetização científica ou letramento científico?: interesses envolvidos nas interpretações da noção de scientific literacy. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 68, p. 169-186, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782017000100169&lng=en&nrm=iso . Acesso em 20 set. 2018.

CUNHA, S.; MATOS, J. Além da caipirinha: Cachaça como solvente para síntese orgânica e extração de pigmento. **Química Nova**, v. 40, n. 10, p. 1253-1258.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DEMAMAN, A. S.; FUNK, S.; HEPP, L. U.; ADÁRIO, A. M. S.; PERGHER, S. B. C. Programa de gerenciamento de resíduos dos laboratórios de graduação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus Erechim. **Química Nova**, v.27, n.4, p.674-677, 2004.

- DIVYA, D.; RAJ, K. From Scrap to Functional Materials: Exploring Green and Sustainable Chemistry Approach in the Undergraduate Laboratory. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 3, p. 535-539.
- DOMIN S. D. A Review of Laboratory Instruction Styles. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 4, p. 543-547, 1999.
- DOMIN, D. S. A Content analysis of general chemistry laboratory manuals for evidence of high-order cognitive tasks. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 1, p. 109-111, 1999b.
- DOMIN, D. S. Considering Laboratory Instruction through Kuhn's View of the Nature of Science. **Journal of Chemical Education**, v. 86, n. 3, p. 274-277, 2009.
- DRUMMOND, D. W. How not to be a large quantity generator of hazardous waste. **Journal of Chemical Health and Safety**, v. 13, n. 1, p. 9-14, 2006.
- DUARTE, R. C. C.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Avaliação da “microverdures” de sínteses com a estrela verde. **Química Nova**, vol. 37, n. 6, p. 1085-1093, 2014.
- EILKS, I.; SJOSTROM, J.; ZUIN, V. G. The responsibility of chemists for a better world: challenges and potentialities beyond the lab. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, v. 12, p. 1-12, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324546087_The_responsibility_of_Chemists_for_a_better_world_challenges_and_potentialities_beyond_the_lab Acesso em 15 fev. 2019.
- EILKS, I.; ZUIN, V. Editorial Overview: Green and Sustainable Chemistry Education (GSCE): Lessons to be learnt for a safer, healthier and fairer world today and tomorrow. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 13, p. a4-a6, 2018.
- EISSEN, M. Sustainable production of chemicals-an educational perspective. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, n. 2, p. 103-111.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA 747-R-08-001: **Mercury and Chemical Management in Schools**: Teachers and School Administrators Participant's Manual. Washington, 2008.
- ERIKSEN, K. K. The Future of Tertiary Chemical Education – A Bildung Focus? **International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 8, n. 1, p. 35-48, 2002.
- FARIAS, L. A; FAVARO, D. I. T. Vinte anos de Química Verde: conquistas e desafios. **Química Nova**, v. 4, n. 6, p. 1089-1093, 2011.
- FERREIRA, C. A. **A avaliação no cotidiano da sala de aula**. Porto: Porto editora, 2007.
- FIKSEL, J. Design for environment: creating eco-efficient products and processes. New York: MCGraw-Hill, 1996.
- ALVES FILHO, J. P. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 174-188, jan. 2000. ISSN 2175-7941. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9006> . Acesso em: 19 jul. 2020.

- FLICK, U. **Introdução a pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- FLYNN, A. B.; ORGILL, M.; HO F YORK, S. M.; A. MATLIN, S.; CONSTABLE, D. J. C.; MAHAFFY, P. G. Future Directions for Systems Thinking in Chemistry Education: Putting the Pieces Together. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 3000-3005.
- FREIRE, P. **Educação como prática da liberdade**. São Paulo: Paz e Terra, 1980.
- GALGANO, P.; LOFFREDO, C.; SATO, B.; REICHARDT, C.; EL SEOUD, O. Introducing education for sustainable development in the undergraduate laboratory: Quantitative analysis of bioethanol fuel and its blends with gasoline by using solvatochromic dyes. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, n. 2, p. 147-153, 2012.
- GALIAZZI, Maria do Carmo; GONCALVES, Fábio Peres. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 326-331, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000200027&lng=en&nrm=iso Acesso em 29 jun. 2020.
- GERBASE, A. E.; COELHO, F. S.; MACHADO, P. F. L.. Gerenciamentos de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 3, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000100001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- GILBERT, J. On the nature of “context” in chemical education. **International Journal of Science Education**, UK, v. 28, n. 9, p. 957-976, 2006.
- GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A Problematización de las actividades experimentales en la formación y la práctica docente de los formadores de profesores de Química. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 31, n. 3, p. 67-86, 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, p. 1, 2006. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID151/v11_n2_a2006.pdf. Acesso em 29 jun. 2020.
- GONCALVES, F. P.; MARQUES, C. A.. A problematização das atividades experimentais na educação superior em Química: uma pesquisa com produções textuais docentes - parte II. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 35, n. 4, p. 837-843, 2012 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000400034&lng=en&nrm=iso>. access on 12 Oct. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000400034>.
- GRUPO DE ESTUDO E PESQUISA EM QUÍMICA VERDE SUSTENTABILIDADE E EDUCAÇÃO. **Research lines**. Disponível: <http://www.gpqv.ufscar.br/english/> Acessado em 26 de maio de 2020.
- GRUSCHKA, A. Teoria Crítica e pesquisa empírica em educação: a escola e a sala de aula. Constelaciones. Dossiê: Teoria Critica de La Sociedad y Educación, v. 6, n. 6, p. 3-31, 2014. Disponível em: <<http://constelaciones-rtc.net/article/view/851>>. Acesso em 18 de mai de 2020.

GUBA, E. G.; LINCOLN, Y. S. **Fourth generation evaluation**. Newbury Park, London, New Delhi: Sage, 1989.

GUBA, Ergon G.; LINCOLN, Yvonna S. **Fourth generation evaluation**. Newbury Park, London, New Delhi: Sage, 1989.

GUIMARÃES, C. C.. Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa. **Química Nova na Escola**, v. 31, n.3, p. 198, 2009.

GUR-ZE'EV, I. A Bildung e a Teoria Crítica na era da educação pós-moderna. **Linhas Críticas**, v. 12, n. 22, p. 5-22, 2006.

HAACK, J. A.; ANDREW BERGLUND, J. E.; HUTCHISON, J.; JOHNSON, D. W.; LONERGAN, M C.; TYLER, D. R. ConfChem Conference on Educating the Next Generation: Green and Sustainable Chemistry—Chemistry of Sustainability: A General Education Science Course Enhancing Students, Faculty and Institutional Programming. **Journal of Chemical Education**, v. 90, n. 4, p. 515-516.

HARTWELL, K. S. Exploring the potential for using inexpensive natural reagents extracted from plants to teach chemical analysis. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, n. 2, p. 135-146, 2012.

HAYDT. R. C. **Avaliação do processo ensino-aprendizagem**. São Paulo: Editora Ática, 1997.

HAYDT. R. C. **Avaliação do processo ensino-aprendizagem**. São Paulo: Editora Ática, 1997.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

HODSON, D. Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion, **Journal of Curriculum Studies**, v. 28, p. 115-135, 1996.

HODSON, D. Redefining and reorienting practical work in School Science. **Science Review**, v. 73, p. 65-78, 1992.

HODSON, D. Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in School Science. **Studies in Science Education**, v. 22, p. 85-142, 1993.

HODSON, D. Time for action: Science education for an alternative future, International. **Journal of Science Education**, v. 25, n. 6, p. 645-670, 2003.

HORKHEIMER, M. Teoria Tradicional e Teoria Crítica. In: Horkheimer, M.; Adorno, T. W. **Textos Escolhidos**. Coleção Os Pensadores. São Paulo: Nova Cultural, 1991.

HORLACHER, R. **The educated subject and the German concept of Bildung – A comparative cultural history**. London: Routledge, 2016.

HWANG, H.; JADHAV, S.; SILVERMAN, J.; JOHN, G. Sweet and Sustainable: Teaching the Biorefinery Concept through Biobased Gelator Synthesis. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 10, p. 1563-1568, 2014.

International Workshop on Sustainable Chemistry – Integrated Management of Chemicals, Products and Processes, joint workshop by the Federal Environment Agency, OECD, the German Federal Institute for Occupational Safety and Health and the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, held in Dessau, 27 - 29 January, 2004 ; <http://www.gdch.de/taetigkeiten/nch/inhalt/jg2004/dessau.pdf> Acesso em 26 de maio de 2020.

JACOBI, P. R. Educar na sociedade de risco: o desafio de construir alternativas . **Pesquisa em Educação Ambiental**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 49-65, 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/pea/article/view/30029>>. Acesso em: 10 de abril de 2018.

JARDIM, W. F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. **Química Nova**. 1998.

JIMÉNEZ VALVERDE, G.; LLOBERA JIMÉNEZ, R; LLITJÓS VIZA, A. La atención a la diversidad en las prácticas de laboratorio de química: los niveles de abertura. **Enseñanza de las ciencias**, v.24, n.1, p.59-70, 2006. Disponível em: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/73532/84740>. Acesso em 29 jun. 2020.

KARLSSON, R.; LUTTROPP, C. Ecodesign: what's happening? An overview of the subject area of Ecodesign and the papers in this special issue. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 1291-1298, 2006.

KARPUDEWAN, M.; ISMAIL, Z.; 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.

KAUFMAN, J.A. **Waste disposal in academic institutions**. 3rd.ed. Toronto: CRC Press, 1990. 208 p.

KLAFKI, W. The significance of classical theories of Bildung for a contemporary concept of Allgemeinbildung. In I. WESTBURY, S. HOPMANN, K. RIQUARTS (Eds.), **Teaching as a reflective practice: The German Didaktik tradition** (pp. 85–108). Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2000.

KOLOPAJLO, L. Green chemistry pedagogy. **Physical Sciences Reviews**, v.2, n. 2, p. 1- 17, 2017. Disponível em: <https://www.degruyter.com/view/journals/psr/2/2/article-20160076.xml?language=en> Acessado em 13 de jun de 2020.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1998.

KÜMMERER, KLAUS; CLARK, J. H.; ZUIN, V. G.. Rethinking Chemistry For a Circular Economy. **Science**, v. 367, p. 369-370, 2020.

KÜMMERER, K. Sustainable Chemistry: A Future Guiding Principle. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 56, n. 52, p. 16420-16421, 2017.

LAUGKSCH, R.C. Scientific Literacy: A Conceptual Overview. **Science Education**, v.84, n.1, 71-94, 2000.

LENARDÃO, E. J.; FREITAS, 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.

LINTHORST, J.A. An overview: origins and development of green chemistry. **Found Chemistry** v.12, p. 55–68, 2010. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-009-9079-4#citeas> Acessado em 26 de maio de 2020.

LISO, M. R. J.; GUADIX, M. A.; TORRES, E. M.; Química Cotidiana para la Alfabetización Científica: ¿realidad o utopia? **Educación Química**, v.13, n.4, p.259-266, 2002.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MACHADO, A. A. S. C. Da gênese ao ensino da Química Verde. **Química Nova**, v. 34, p. 535-543, 2011. Disponível em <http://www.scielo.br/pnf/v34n3/29.pdf>. Acesso em 10 ago. 2018.

MACHADO, P. F. L.; MÓL, G. S. Resíduos e Rejeitos de Aulas Experimentais: O que Fazer? **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 29, n. 3 p. 38-41, 2008.

MARCO, B; RECHELO, B; TÓTOLI, E; KOGAWA, A; SALGADO, H. Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2019. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S131901641830152X> Acessado em 26 de maio de 2020.

MARIA, T.; NUNES, R.; PEREIRA, M.; EUSÉBIO, M. Argilas como catalisadores verdes na esterificação do colesterol: caracterização espectroscópica e identificação de polimorfos por métodos de análise térmica. Uma proposta laboratorial interdisciplinar para o 1º ciclo universitário. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2225-2229.

MARKS, R.; EILKS, I. Promoting Scientific Literacy Using a Sociocritical and Problem-Oriented Approach to Chemistry Teaching: Concept, Examples, Experiences. **International Journal of Environmental & Science Education**, v. 4, n 3, p. 231-245, 2009. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ884394.pdf>

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. Disponível em: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC_17_1_2_ex1093.pdf. Acesso em: 15 fev. 2019.

MARTEEL-PARRISH, A. Teaching green and sustainable chemistry: A revised one-semester course based on inspirations and challenges. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 7, p. 1084-1086

MARTINS, R.; BERNARDI, F.; DANGUI KREVE, Y.; NICOLINI, K.; NICOLINI, J. Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base no Ensino Médio (Parte I). **Educacion Química**, v. 28, n.4, p. 246-253.

MCALLISTER, G.; PARSONS, A. Going Green in Process Chemistry: Optimizing an Asymmetric Oxidation Reaction to Synthesize the Antiulcer Drug Esomeprazole. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 11, p. 2617-2621.

MCALLISTER, G.; PARSONS, A. Going Green in Process Chemistry: Optimizing an Asymmetric Oxidation Reaction to Synthesize the Antiulcer Drug Esomeprazole. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 11, p. 2617-2621, 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resoluções CONAMA. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Resolução CONAMA nº 358/2005 - “Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.” - Data da legislação: 29/04/2005 - Publicação DOU nº 084, de 04/05/2005, p. 63-65. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> . Acesso em: 29 mai. 2019.

MIZUKAMI, M. G. N.. **Ensino**: as abordagens do processo. São Paulo: EPU, 2016.

MOQBEL, S. Solid Waste Management in Educational Institutions: The Case of The University of Jordan. **Journal of Environmental Research**, v. 74, n. 2, p. 23-33, 2018.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: uma possibilidade permitida pela análise discursiva textual. **Ciênc. educ.** (Bauru), Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132003000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 de abril de 2018.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. do C. **Análise textual discursiva**. 3ed. Ijuí: Editora UNIJUÍ, 2016.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v. 12, n. 1, p. 117-128, abril de 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132006000100009&lng=en&nrm=iso>. acesso em 10 de abril de 2018.

ONU. **Nosso futuro comum**. COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. 1987. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/> Acesso em 26 de maio de 2020.

ONU. **Transformando Nosso Mundo**: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015a. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em 26 de maio de 2020.

ONU. **UN adopts new Global Goals, charting sustainable development for people and planet by 2030**. 2015b. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2015/09/509732-un-adopts-new-global-goals-charting-sustainable-development-people-and-planet#.Vm_z6o-cHQs>. Acesso em 26 de maio de 2020.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **The Role of Government Policy in Supporting the Adoption of Green/Sustainable Chemistry Innovations**, Paris, 2012. Disponível em: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2012\)3&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2012)3&doclanguage=en) Acesso em 26 de maio de 2020.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT.

Sustainable chemistry. 2019. <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/sustainablechemistry.htm>. Acesso em 26 de maio de 2020.

OVERTON, T.; RANDLES, C. Beyond problem-based learning: Using dynamic PBL in chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 16, n. 2, p. 251-259, 2015.

PAPANEK, V. J. **Design for the real World: Human ecology and social change.** Chicago: Chicago Review Press, 2005

PAVELICH, M. J.; ABRAHAM, M. R. An inquiry format laboratory program for general chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 56, n. 2, p. 100-103, 1979.

PEREIRA, G. S. M.; JABBOUR, C. J. C.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; TEIXEIRA, A. A.. Greening the campus of a Brazilian university: cultural challenges. **International Journal Of Sustainability In Higher Education**. Bingley: Emerald Group Publishing Limited, v. 15, n. 1, p. 34-47, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/113542>>.

PEREZ, Daniel Gil et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132001000200001&lng=en&nrm=iso Acesso em 29 jun. 2020.

PERRENOUD. P. **Avaliação: da excelência à regulamentação das aprendizagens.** Porto Alegre: Artmed, 1999.

PIMENTEL, L. C. F; CHAVES, C. R.; FREIRE, L. A. A.; AFONSO, J. C. O inacreditável emprego de produtos químicos perigosos no passado. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 1138-1149, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000500040&lng=en&nrm=iso . Acesso 27 mai. 2019.

POPPER, K. R. **Autobiografia intelectual.** 2ª ed. São Paulo: Editora Cultrix. 1986. 251 p.

POPPER, K. R. **Conhecimento objetivo.** Uma abordagem evolucionária. São Paulo: Editora Itatiaia. 1975. 394 p.

POPPER, K. R. **Conjecturas y Refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico.** Barcelona: Paidós. 1983. 513 p.

POZO, J. I; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico.** Porto Alegre: Artmed, 2009.

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

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002.

PRAIA, João; CACHAPUZ, António; GIL-PÉREZ, Daniel. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132002000200009&lng=en&nrm=iso Acesso 27 mai. 2019.

RAUCH, F. Education for Sustainable Development and Chemistry Education, in: ZUIN, V. G; MAMMINO, L. **Worldwide Trends in Green Chemistry Education**. The Royal Society of Chemistry, p.17-19, 2015.

REIZNAUTT, Q. B.; GIRELLI, B.; SANTA CATHARINA, V. M.; SAMIOS, D.; GARCIA, I. T. S. Físico-química experimental: uma proposta para abordar equilíbrio de fases em sistemas ternários. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 9, p. 1447-1452, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000900028&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 29 jun. 2020.

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da veracidade de reações laboratoriais – ‘Estrela verde’. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p.759-764, 2010.

ROBERTS, D. A. Scientific Literacy/Science Literacy. In: ABELL, S. K. LEDERMAN, N. G. **Handbook of Research on Science Education**. Lawrence Erlbaum Associates, 2007. p. 729-780.

SÁ, L. P.; FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. Case Studies in Chemistry. **Quim. Nova**, v. 30, n. 3, p. 731–739, 2007.

SALINAS DE SANDOVAL, Julia; COLOMBO DE CUDMANI, Leonor. Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida. **Revista de Enseñanza de la Física**, Asociación de Profesores de Física de la Argentina, v. 5, n. 2, p.10-17, 1992.

SANTOS, W. L. P.; AULER, D.. **CTS e educação científica**: desafios, tendências e resultados de pesquisa. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011.

SANTOS, W. P.; MORTIMER, E. F. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CT-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 2, n. 2, dez. 2002.

SANTOS, W. L. P. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, dimensões e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro: ANPEd; Campinas: Autores Associados, v. 12, n. 36, p. 474-550, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbedu/v12n36/a07v1236.pdf>>. Acesso em 20 set. 2018.

SANTOS, W.L. e MORTIMER, E.F. A dimensão social do ensino de Química – Um estudo exploratório da visão de professores. II Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências. Valinhos, 1999b. Atas em CD-ROM.

SANTOS, W.L. e MORTIMER, E.F. Concepções de professores sobre a contextualização social do ensino de Química e Ciências. Livro de Resumos da 22ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. São Paulo: SBQ, 1999a. v. 3, resumo ED-070.

SANTOS, W.L.; MALDANER, O.A. **Ensino de Química em foco**. 1 ed. Ijuí: Unijuí, 2010.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 110-132, Dec. 2000. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172000000200110&lng=en&nrm=iso Acesso em 29 jun. 2020.

SAQUETO, K. C. Química Verde no ensino superior de química: estudo de caso sobre as práticas vigentes em uma IES Paulista. 285F. 2015. **Tese (Química)**. São Carlos, UFSCar, 2015.

SHEN, B. S. P. Science Literacy: Public understanding of science is becoming vitally needed in developing and industrialized countries alike. Estados Unidos: **American Scientist**, v. 63, n. 3, p. 265-268, 1975. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/pdfplus/27845461.pdf>>. Acesso em 20 set. 2018.

SILVA, R.R.; MACHADO, P.F.L.; TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, W.L.; MALDANER, O.A. (Org.) **Ensino de Química em foco**. 1 ed. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 231-261.

SILVA, T. E. M.; BERNARDINELLI, S.; SOUZA, F. F.; MATOS, A. P.; ZUIN, V. G. Desenvolvimento e Aplicação de Webquest para Ensino de Química Orgânica: Controle Biorracional da Lagarta-do-Cartucho do Milho. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 38, p 47-53 2016.

SILVA, R. T et al . Contextualização e experimentação uma análise dos artigos publicados na seção "experimentação no ensino de química" da revista química nova na escola 2000-2008. **Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 277-298, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172009000200277&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 29 jun. 2020.

SILVA, W. S.; ALMEIDA, W. S. B.; GARCÊS, B. P. Possibilidade de utilização de produtos naturais em aulas práticas de química orgânica e bioquímica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 53., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química, 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 n. 3, p. 321-341, 2016.

SJÖSTRÖM, J.; FRERICHS, N.; ZUIN, V. G.; EILKS, I. Use of the concept of Bildung in the international science education literature, its potential, and implications for teaching and learning, **Studies in Science Education**, v. 53, n. 2, 165-192, 2017.

SPRADLEY, J. P. **Participant Observation**. New York: Rinehart and Winston, 1980.

STABLES, K. Educating for environmental sustainability and educating for creativity: actively compatible or missed opportunities? **International Journal of Technology and Design Education**, v. 19, p 190-219, 2009.

STEINHÄUSER, K. G.; GREINER, P.; RICHTER, S.; PENNING, J.; NGRICK, M. Sustainable Chemistry: Signal for Innovation or Only Slogan? **Environmental Science and Pollution Research**, v. 11, n. 5, p. 281–283, 2004.

SUAREZ, R. Nota sobre o conceito de Bildung (formação cultural). **Kriterion**, Belo Horizonte, v. 46, n. 112, p. 191-198, 2005. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-512X2005000200005&lng=en&nrm=iso . Acesso em 18 de mai de 2020.

SUDAN, D. C.; ZUIN, V. G. La Emancipación en educación ambiental: formación en una universidad brasileña. **Multidisciplinary Journal of Educational Research**, v. 8, p. 205, 2018.

SUDAN, D. C.; ZUIN, V. G. A (semi)formação na Educação Ambiental Universitária: tensionamentos a partir de um estudo empírico sob a ótica da Teoria Crítica. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 94 – 113, 2019.

SUPHAROEK, S.; PONHONG, K.; SIRIANGKHAWUT, W.; GRUDPANC, K. Employing natural reagents from turmeric and lime for acetic acid determination in vinegar sample. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 26, n. 2, p. 583-590, 2018.

SUSCHEM. **Sustainable future**, 2019. Disponível: <http://www.suschem.org/about/sustainable-future> Acessado em 26 de maio de 2020.

TERCI, D. B. L.; ROSSI, A. V. Indicadores naturais de pH: usar papel ou solução?. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 684-688, 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000400026&lng=en&nrm=iso . Acesso 27 mai. 2019.

UCHINSKI, A. S.; CAETANO, J.; DRAGUNSKI, D. C. Extração do corante da beterraba (Beta vulgaris) para utilização como indicador ácido-base. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 17-23, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702010000400002&lng=en&nrm=iso . Acesso 27 mai. 2019.

UK. **Sustainability at York**. University of York. 2013. Disponível: <https://www.york.ac.uk/about/sustainability/> Acessado em 26 de maio de 2020.

UN. **Global Chemicals Outlook II - From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development**. United Nations Environment Programme, 2019. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/resources/report/global-chemicals-outlook-ii-legacies-innovative-solutions> Acessado em 26 de maio de 2020.

UNCED. Reorientação do ensino no sentido do Desenvolvimento Sustentável. p. 25-31. In: **Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Brasil, 1992. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000148654> Acesso em: 15 fev. 2019.

UNESCO. Background of Education for Sustainable Development. p. 25-31. In: **International Implementation Scheme**. França: Section for Education for Sustainable

Development, 2005c. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000148654>
Acesso em: 15 fev. 2019.

UNESCO. **Education for Sustainable Development**. 2005a Disponível em:
<https://en.unesco.org/themes/education-sustainable-development> Acesso em: 15 fev. 2019.

UNESCO. **Guidelines and recommendations for reorienting teacher education to address sustainability**. França, 2005b. Disponível em:
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000143370> Acesso em: 15 fev. 2019.

UNI-Bremen. **ARTEC Sustainability Research Center**. 2012. Disponível: <https://www.uni-bremen.de/en/artec/about-us> Acessado em 26 de maio de 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Basics of Green Chemistry**, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry> Acesso em 26 de maio de 2020.

VANNUCCHI, A. I. A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino de Ciências. In: CARVALHO, A. M. P. (org) **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

VÁSQUEZ-LEVY, D. Bildung-centred Didaktik: a framework for examining the educational potential of subject matter. **Journal of Curriculum Studies**, v. 34, 117–128, 2002.

VIANA, K. S. L. Avaliação da Experiência: uma perspectiva de avaliação para o ensino das Ciências da Natureza. 202f. 2014. **Tese** (Ensino das Ciências). Recife, UFRPE, 2014.

WARE, S. A. Greening the Curriculum. American Chemical Society Education Programs. **Pure and Applied Chemistry**, v. 73, n. 8, p. 1247-1250, 2001b.

WARE, S. A. Teaching Chemistry from a Societal Perspective. **Pure and Applied Chemistry**, v. 73, n. 7, p. 1147–1223, 2001a.

WILLBERGH, I. The problems of ‘competence’ and alternatives from the Scandinavian perspective of Bildung. **Journal of Curriculum Studies**, v. 47, 334–354, 2015.

WITZEL, A. The Problem-Centered Interview. **Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research**, v. 1, n. 1, 2000. Disponível em:
< <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1132/2521> > Acesso em: 18 de abril de 2018.

WOODHOUSE, E. J.; BREYMAN, S. Green chemistry as social movement? **Science Technology and Human Values**, v. 30, n. 2, p. 199–222, 2005.

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. **Rev. Virtual Quim.**, v. 6, n. 1, 73-84, 2014.

ZOMPERO, A. F.; LABURU, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

ZUIN, A. A. S.; PUCCI, B.; OLIVEIRA, N. R. **Adorno: o poder educativo do pensamento crítico**. 5. Ed. Petrópolis: Vozes, 2012.

ZUIN, V. G. A dimensão ambiental e a Química Verde na formação inicial de professores de Química: reflexões a partir de um estudo de caso. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 8, p. 70-82, 2013. Disponível em: <http://e.issuu.com/embed.html#2581046/35237401>. Acesso em 29 jun. 2020.

ZUIN, V. G. **Environmental Dimension in Chemistry Teacher Education**. Átomo: Campinas, 2012.

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.

ZUIN, V. G.; STAHL, A. M.; ZANOTTI, K.; SEGATTO, M. L.. Green and sustainable chemistry in Latin America: which type of research is going on? And for what?. **Current Opinion In Green And Sustainable Chemistry**, v. 25, p. 100379-100384, 2020.

ZUIN, V. G.; SEGATTO, M. L.; ZANDONAI, D. P.; GROSSELI, G. M.; STAHL, A. ZANOTTI, K.; ANDRADE, R. S. Integrating Green and Sustainable Chemistry into Undergraduate Teaching Laboratories: Closing and Assessing the Loop on the Basis of a Citrus Biorefinery Approach for the Bio-circular Economy in Brazil. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 12, p. 2975-2983, 2019.

ZUIN, V. G.; ZUIN, A. A. S. A atualidade do conceito de semiformação e o renascimento da Bildung. **Revista Espaço Pedagógico**, v. 24, p. 420, 2017.

ZUIN, V. G.; ZUIN, A. A. S. O laboratório de química como locus de experiências formativas. Belo Horizonte: **Revista Ensaio**, v. 19, e2681, 2017.

ZUIN, V. G.; ZUIN, A. A. S. A formação no tempo e no espaço da internet das coisas. **Educação e Sociedade**, v. 37, p. 757-773, 2016.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Sequência de aulas desenvolvidas no período letivo da disciplina de Experimentação na Educação Química e as respectivas atividades desenvolvidas durante o estágio-docência.

AULA	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS
1ª aula (20/03)	Apresentação da disciplina
No primeiro dia de aula, a professora, antes de iniciar a aula, comunicou aos licenciandos que a estudante-estagiária iria acompanhar, novamente, a turma, mas agora na disciplina de Experimentação na Educação Química. Nesse momento, a estudante-estagiária apresentou seus objetivos perante a realização do estágio. Em seguida, entregou a cada licenciando o termo de consentimento livre e esclarecido. Todos os licenciandos assinaram. De posse dos termos, foi entregue uma ficha com datas da semana seguinte para que os licenciandos escolhessem o melhor dia e horário para realização da sua entrevista. Em seguida, a professora apresentou a ementa, os objetivos da disciplina e o cronograma de atividades a serem desenvolvidas. Também discutiu, com os licenciandos, como as aulas seriam estruturadas - aulas teóricas com leitura e discussão dos textos indicados na ementa e aulas práticas com a proposição, testagem e aplicação das propostas experimentais a serem construídas - e como seriam avaliados, considerando, desde a frequência e postura colaborativa e responsável nas atividades propostas, passando pela produção de textos, materiais didáticos, relatórios e seminários, até a avaliação escrita e a autoavaliação. A professora finalizou a aula com a indicação da leitura prévia do texto “O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências”²⁷ e também solicitou que, a partir da leitura, os licenciandos deveriam entregar uma síntese que explicasse a função da experimentação na educação química, com destaque para os aspectos históricos, epistemológicos e psicológicos.	
2ª aula (27/03)	Leitura e Discussão do texto: “O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências” ²⁰
A aula enfatizou os aspectos históricos, epistemológicos e psicológicos da utilização de laboratórios no ensino de ciência/química. No primeiro momento da aula, a professora, inicialmente, solicitou que os estudantes organizassem suas cadeiras para formarem um grande semicírculo. Em seguida, cada estudante era convidado a compartilhar os aspectos que levantaram em suas respectivas leituras sobre a função da experimentação na educação química, com destaque para aspectos históricos, epistemológicos e psicológicos. À medida que os licenciandos apresentavam as suas sínteses, a professora mediava as discussões e os outros licenciandos também se posicionavam sobre os aspectos em comuns e divergentes. No segundo momento da aula, a estudante-estagiária, com a utilização do projetor, apresentou uma síntese sobre os principais aspectos históricos, epistemológicos e psicológicos que os autores do texto discutiam. Com esse momento, houve o fechamento das discussões.	

²⁷ GIORDAN, M. O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências. Química Nova na Escola, v. 10, p. 43-49, 1999. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf> Acesso em 30 out. 2020.

A professora finalizou a aula com a indicação da leitura prévia do texto “Contribuições Pedagógicas e Epistemológicas em Textos de Experimentação no Ensino de Química”²⁸ e também solicitou que, a partir da leitura, os licenciandos deveriam entregar uma síntese, destacando duas categorias pedagógica e/ou epistemológica da experimentação para o ensino de química.

3ª aula (03/04)	Leitura e Discussão do texto: “Contribuições Pedagógicas e Epistemológicas em Textos de Experimentação no Ensino de Química” ²¹
Essa aula teve o objetivo de problematizar a experimentação na formação de professores de Química e de repensar as características metodológicas das atividades experimentais. Nessa, assim como na anterior, a professora solicitou que os estudantes organizassem suas cadeiras para formar um grande semicírculo. Em seguida, cada licenciando era convidado a indicar e justificar as duas categorias pedagógica e/ou epistemológica que escolheram. Os licenciandos escolheram: • Crença na motivação; • A dimensão epistemológica da experimentação no ensino; • Condições materiais: o alicerce no alternativo; • Conteúdos: mostrar a relevância do que se aprende. Dentre as categorias citadas pelos licenciandos, as “condições materiais: o alicerce no alternativo” foi a mais recorrente. No entanto, as contribuições “contexto dialógico” e “conteúdos: para além do conceitual” não foram indicados pelos estudantes. Após o momento inicial de apresentação e discussão das contribuições pedagógica e/ou epistemológica pelos licenciandos, a estudante-estagiária, com a utilização do projetor, apresentou todas as categorias pedagógica e epistemológica, tratadas no texto, discutindo sobre: (i) a relação entre atividade experimental e motivação; a necessidade de refletir acerca da natureza epistemológica da experimentação no ensino; a importância de um contexto dialógico para a aprendizagem; as condições materiais para o desenvolvimento de atividades experimentais e as características dos conteúdos ensinados por meio dos experimentos. Esse momento foi importante para os licenciandos discutirem e apresentarem as suas dúvidas, principalmente sobre as contribuições que ninguém apresentou para discussão. Ao final da aula, a professora solicitou aos estudantes que escolhessem um artigo científico que abordasse uma prática experimental, considerando a filosofia e/ou princípios da Química Verde e que o analisasse usando as categorias discutidas na aula. Essa atividade foi entregue na aula seguinte.	
4ª aula (10/04)	Leitura e Discussão do texto: “A dimensão ambiental e a Química Verde na formação

²⁸ 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, p. 1, 2006. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID151/v11_n2_a2006.pdf Acesso em 30 out. 2020.

	inicial de professores de Química: reflexões a partir de um estudo de caso” ²⁹
Nessa aula, a professora apresentou o desafio da institucionalização da Química Verde e a necessidade de integrar as concepções de sustentabilidade, presentes no movimento da Química Verde, no trabalho laboratorial. Após solicitar aos licenciandos que organizassem suas cadeiras para formar um grande semicírculo, a professora iniciou uma leitura colaborativa com os mesmos. Durante a leitura e discussão do texto, foram levantados os conceitos de “razão instrumental” e “slogan e a sociedade do espetáculo”. Também foi discutido sobre a formação docente em química, sob a perspectiva das relações CTSA, ética e emancipação. Ao final da aula, a professora indicou a leitura prévia do texto “Experimentar sem medo de errar”³⁰ e também solicitou que, a partir dessa, os licenciandos deveriam entregar uma síntese, destacando a importância de abordagens experimentais mais emergentes para a Educação Química. Também foi solicitada a leitura do texto “La atención a la diversidad en las prácticas de laboratorio de química”³¹ e das “Orientações Curriculares para o Ensino Médio”³² para o ensino de química.	
5ª aula (17/04)	Leitura e Discussão do texto: “Experimentar sem medo de errar” ²³ e suas relações com os textos: “La atención a la diversidad en las prácticas de laboratorio de química” ²⁴ e “Orientações Curriculares para o Ensino Médio” ²⁵
Essa aula teve o objetivo de discutir acerca das abordagens experimentais que atendessem as exigências que permeiam as Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Assim como na aula anterior, a professora, inicialmente, solicitou que os estudantes organizassem suas cadeiras para formar um grande semicírculo e apresentassem suas sínteses. Após esse momento de apresentação e discussões, a estudante-estagiária, com a utilização do projetor, apresentou como os conhecimentos químicos estão organizados na Base Nacional Curricular Comum (BNCC) e as abordagens metodológicas que permeiam o ensino de química, com ênfase na experimentação. A professora finalizou a aula solicitando, apenas, a leitura do texto “O laboratório de química como locus de experiências formativas”²⁶ para discussão na aula seguinte.	

²⁹ ZUIN, V. G. A dimensão ambiental e a Química Verde na formação inicial de professores de Química: reflexões a partir de um estudo de caso. Revista Brasileira de Ensino de Química, v. 8, p. 70-82, 2013. Disponível em: <http://e.issuu.com/embed.html#2581046/35237401>. Acesso em 30 out. 2020.

³⁰ SILVA, R.R.; MACHADO, P.F.L.; TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, W.L.; MALDANER, O.A. (Org.) Ensino de Química em foco. 1 ed. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 231-261. Acesso em 30 out. 2020.

³¹ JIMÉNEZ VALVERDE, G.; LLOBERA JIMÉNEZ, R; LLITJÓS VIZA, A. La atención a la diversidad en las prácticas de laboratorio de química: los niveles de abertura. Enseñanza de las ciencias, v.24, n.1, p.59-70, 2006. Disponível em: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/73532/84740>. Acesso em 30 out. 2020.

³² BRASIL. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências Matemáticas e da Natureza e suas Tecnologias. Brasília, MEC/SEMTEC, 2006. (Conhecimentos de Química) Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf. Acesso em 30 out. 2020.

6ª aula (24/04)	Leitura e Discussão do texto: “O laboratório de química como locus de experiências formativas” ³³
Nessa aula, houve a presença do Prof. Antônio Zuin, esse que é professor do Centro de Educação e Ciências Humanas (CECH) da IES em que ocorreu o desenvolvimento da pesquisa. A professora da disciplina não estava presente, pois estava participando de um evento científico. O professor Antônio Zuin coordenou o processo de discussão sobre o texto “O laboratório de química como locus de experiências formativas” de forma expositiva dialogada. Ao final da aula, foi solicitado aos licenciandos, a partir das discussões e da leitura do texto, que desenvolvessem uma síntese como resposta à seguinte pergunta: “De acordo com sua visão, de que maneira a prática de laboratório de química pode ocorrer como experiência formativa? Quais os fatores determinantes? A síntese foi entregue na aula seguinte.	
7ª aula (08/05)	Avaliação escrita
Nesta aula foi realizada a avaliação escrita da disciplina com os licenciandos.	
8ª aula (15/05)	Elaboração das propostas experimentais
Esta aula foi dedicada para que os licenciandos iniciassem a elaboração da proposta experimental. A professora, inicialmente, solicitou que os estudantes se organizassem em grupos/duplas e que, a partir dos temas encaminhados pela coordenação pedagógica da ETEC, eles escolhessem quais gostariam de desenvolver. Ela também solicitou que os estudantes pensassem em dois experimentos que melhor atendessem aos temas e conceitos escolhidos para serem testados. Em seguida, a estudante-estagiária apresentou, aos licenciandos, o modelo que utilizariam para a elaboração da proposta experimental. A partir desse momento, a professora e a estudante-estagiária passaram por cada grupo/dupla e foram discutindo sobre o tema escolhido e orientando o processo de construção da proposta. Ao final da aula, foi solicitado pela professora o envio das propostas para seu e-mail com cópia para o e-mail da estudante-estagiária, para que elas pudessem realizar considerações sobre a versão inicial das propostas experimentais e enviá-las aos licenciandos para preparação da versão final.	
9ª aula (22/05)	Teste dos Experimentos

³³ ZUIN, V. G.; ZUIN, A. A. S. O laboratório de química como locus de experiências formativas. Belo Horizonte: **Revista Ensaio**, v. 19, e2681, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/cJT76vZkCWHYJBqfqqL9n3x/abstract/?lang=pt> Acesso em 06 mar. 2019.

Esta aula foi dedicada para que os licenciandos realizassem os testes dos experimentos que integravam as suas propostas experimentais.

Os testes foram realizados no Laboratório de Ensino de Físico-Química, no Departamento de Química da IES Federal Paulista, em que a pesquisa se desenvolveu. Foram supervisionados pela professora da disciplina, pela estudante-estagiária e pelo técnico de laboratório.

Nesse momento, os licenciandos buscaram testar a funcionalidade do experimento escolhido para o desenvolvimento do tema e também aplicar princípios da química verde. Dentre eles, os licenciandos estão centrados na economia de átomos, na utilização de compostos de menor toxicidade e no desenvolvimento de substâncias degradáveis.

Após os testes dos experimentos, os licenciandos deveriam escolher um deles, o que melhor atendesse ao tema e a proposta desenvolvida. Alguns grupos não conseguiram fazer essa escolha, pois apenas um dos seus experimentos foram favoráveis aos testes realizados.

10ª aula (29/05)	Fechamento das propostas experimentais
Esta aula foi dedicada para os licenciandos finalizarem as propostas experimentais, considerando os testes experimentais desenvolvidos no Laboratório de Ensino de Físico-Química no Departamento de Química da IES Federal Paulista. A versão final das propostas foi enviada para o e-mail da professora da disciplina, com cópia para o e-mail da estudante-estagiária. Essa versão das propostas experimentais foi objeto de análise da pesquisa, permitindo avaliar a métrica que envolve as Dimensões Formativas para a Educação em Química Verde e Sustentável.	
11ª e 12ª aula	Aplicação das propostas experimentais
Durante este período, os grupos aplicaram as propostas experimentais em uma Escola Técnica (ETEC) do Estado de São Paulo, ou no Centro de Divulgação Científica e Cultural da USP (CDCC/USP). Foi possível o acompanhamento da aplicação de todas as propostas experimentais. O acompanhamento da aplicação, das propostas experimentais, permitiu analisar como os licenciandos compreenderam, construíram e aplicaram as práticas experimentais desenvolvidas.	
13ª 14ª aula (19/06 – 26/06)	Seminários
Durante essas aulas, os licenciandos apresentaram seus relatos sobre o desenvolvimento das propostas experimentais e entregaram o relatório de atividade à professora.	
15ª aula (03/07)	Fechamento da disciplina

Nessa aula, a professora aplicou uma autoavaliação, previamente elaborada, para que os estudantes apresentassem suas considerações sobre o desenvolvimento da disciplina, os procedimentos didáticos utilizados, os conteúdos discutidos e a atuação da estudante-estagiária.

APÊNDICE B – Entrevista inicial

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS HUMANA- CECH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
PESCD: Rosivânia da Silva Andrade
1º Sem. 2019**

ENTREVISTA INICIAL

1. O que você entende por prática experimental?
2. Qual a importância da prática no processo de ensino e aprendizagem em química?
3. É possível inserir a Química Verde nas práticas didáticas? Como você faria essa inserção?
4. Como você caracteriza um experimento que viabiliza o Desenvolvimento Sustentável?
5. É possível elaborar/adaptar um experimento para gerar menos resíduo? Quais estratégias adotaria?

APÊNDICE C – Protocolo de situação

EXPERIMENTAÇÃO PARA EDUCAÇÃO QUÍMICA Prof.^a Dr.^a Vânia Gomes Zuin Doutoranda: Rosivânia da Silva Andrade			
PROTOCOLO DE SITUAÇÃO			
Data	Horário	Local ☐ UFSCar ☐ CDCC ☐ ETEC	Tipo de Aula ☐ Teórica ☐ Prática
Atividade: ☐ Discursões teóricas ☐ Elaboração das propostas experimentais ☐ Teste dos experimentos em laboratório ☐ Aplicação dos experimentos ☐ Apresentação das proposta [seminários] ☐ Atividade avaliativa da disciplina			
Temática e bibliografia:			
Objetivo (s):			
Motivação dos estudantes na realização da atividade:			
Aspectos referente ao objeto de estudo discutidos/evidenciados:			
Dificuldades encontradas:			
Notas reflexivas:			

APÊNDICE D - Propostas para práticas experimentais na educação química

TÍTULO (Elaborar um título para seu experimento)

1 INTRODUÇÃO

Apresentação resumida dos principais aspectos a serem abordados no experimento e sua importância no contexto escolar.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo do experimento

É o objetivo prático/conceitual a ser alcançado com a realização do experimento.

2.2 Objetivos de ensino

Esses objetivos estão relacionados com os resultados acerca da aprendizagem do aluno. Dessa forma, os objetivos devem ser estabelecidos utilizando-se verbos que expressam comportamentos diretamente observáveis como: identificar, reconhecer, descrever, explicar, relacionar, calcular, resolver, analisar, entre outros.

3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Descrever os conceitos teóricos que fundamentam a prática experimental.

4 PROBLEMA

Apresentar uma problematização/contexto seguida de uma ou mais questões que possam ser respondidas a partir da realização da prática experimental.

5 MATERIAIS E REAGENTES

Materiais necessários para a execução do experimento (vidrarias, reagentes, equipamentos, entre outros)

6. PROCEDIMENTOS

Descrever o procedimento experimental e o procedimento didático que envolvem o desenvolvimento da proposta.

7 CUIDADO COM SEGURANÇA E DESCARTE DE RESÍDUOS

Apontar os riscos porventura existentes e os cuidados a serem tomados para a condução da prática. Além de evidenciar os possíveis resíduos gerados e como irá tratá-los/descartá-los.

8 CUSTO

Custo aproximado da prática. Organizar em tabela.

9 REFERÊNCIAS

Livros, periódicos, revistas, consulta à rede mundial de computadores, entre outros, que foram consultados para a elaboração/adaptação da prática experimental. Listar em ordem alfabética o material bibliográfico, de acordo com as normas da ABNT.

APÊNDICE E - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS CENTRO DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS HUMANAS- CECCH PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (Resolução 466/2012 do CNS)

A PRÁTICA EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA, VERDE E SUSTENTÁVEL COMO MEIO PARA A CONSTRUÇÃO DE EXPERIÊNCIAS FORMATIVAS NO ENSINO SUPERIOR

Eu, Rosivânia da Silva Andrade, estudante do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar o(a) convido a participar da pesquisa “A Prática Experimental Investigativa, Verde e Sustentável como meio para a construção de experiências formativas no laboratório de química no ensino superior” orientada pela Prof.^a Dr.^a Vânia Gomes Zuin.

Tendo em vista, a necessidade da ressignificação de práticas consideradas mais sustentáveis no ensino superior, a proposta desse estudo é analisar potencialidades, obstáculos e condicionantes no estabelecimento de uma prática investigativa, verde e sustentável para a construção de experiências formativas em uma IES pública Paulista.

Você foi selecionado(a) por ser estudante regularmente matriculado(a) em uma disciplina aderente às práticas verdes da Universidade Federal de São Carlos/SP. Primeiramente, você será convidado(a) a responder um questionário sobre diversos aspectos que envolvem às práticas consideradas mais sustentáveis e, posteriormente, a participar do desenvolvimento de uma atividade investigativa e/ou de uma entrevista individual, em locais e horários adequados de acordo com sua agenda.

Os riscos relacionados à participação na pesquisa podem gerar estresse e desconforto no que se refere aos tópicos apresentados nos questionários, entrevistas e discussões em grupos, por envolver a exposição de opiniões. Diante dessas situações, os(as) participantes terão garantidas pausas para responder aos questionários e entrevistas, bem como a liberdade de não responder as perguntas quando a considerarem constrangedoras, podendo interromper a entrevista a qualquer momento.

No que se refere aos riscos no desenvolvimento das práticas, estes se referem ao possível contato com reagentes e vidrarias, os quais serão minimizados por meio da seleção de atividades verdes (materiais atóxicos, com riscos mínimos com relação à segurança por privilegiar solventes renováveis como etanol ou água, procedimentos realizados em temperatura e pressão ambientes, que não gerem resíduos) com base nas regras adotadas para as boas práticas de laboratório. Caso não se sinta confortável para o desenvolvimento da prática, você tem a liberdade de não participar. Sua participação nessa pesquisa auxiliará na obtenção de dados que poderão ser utilizados para fins científicos, proporcionando informações que poderão trazer benefícios para a área da Educação, para a construção de novos conhecimentos e para a identificação de alternativas e possibilidades para o desenvolvimento de práticas mais verdes e sustentáveis no ensino superior, em especial aos cursos de química. A pesquisadora realizará o acompanhamento de todos os procedimentos e atividades desenvolvidas durante o trabalho.

Sua participação é voluntária e não haverá compensação em dinheiro. A qualquer momento o(a) estudante(a) pode desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa ou desistência não lhe trará nenhum prejuízo acadêmico. Todas as informações obtidas através da pesquisa serão confidenciais, sendo assegurado o sigilo sobre sua participação em todas as etapas do estudo. Caso haja menção a nomes, a eles serão atribuídas letras, com garantia de anonimato nos resultados e publicações, impossibilitando sua identificação. Solicitamos sua autorização para gravação em áudio das entrevistas e/ou de vídeo-gravação e fotos durante o desenvolvimento das práticas, quando pertinente. As gravações realizadas durante a entrevista serão transcritas pela pesquisadora e, depois de transcrita, apresentada aos participantes para validação das informações, assim como as possíveis fotos a serem utilizadas. Em relação às vídeo-gravações estas não serão publicadas, sendo sua utilização apenas para garantir à pesquisadora fidelidade das observações realizadas durante o desenvolvimento das práticas de interesse neste estudo.

Você receberá uma via deste termo, rubricada em todas as páginas por você e pesquisadora, onde consta o telefone e o endereço da pesquisadora principal. Você poderá tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação agora ou a qualquer momento.

Se você tiver qualquer problema ou dúvida durante a sua participação na pesquisa poderá comunicar-se pelo telefone (16) 988448895 ou pelo endereço de e-mail rosivaniandrade@gmail.com. Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar. O pesquisador me informou que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar que funciona na Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, localizada na Rodovia Washington Luiz, Km. 235 - Caixa Postal 676 - CEP 13.565-905 - São Carlos - SP - Brasil. Fone (16) 3351-8110. Endereço eletrônico: cephumanos@ufscar.br

Endereço para contato (24 horas por dia e sete dias por semana):

Pesquisador Responsável: Rosivânia da Silva Andrade

Endereço: Rua Oscar de Souza Geribelo, 356 – Santa Paula, São Carlos/PE

Contato telefônico: +55 (11) 954559690 **e-mail:** rosivaniandrade@gmail.com

São Carlos, ____ de _____ de ____.

Nome do participante da pesquisa: _____

Número e tipo de documento de identificação: _____

Assinatura do Participante

Rosivânia da Silva Andrade
Pesquisadora Responsável

ANEXOS

ANEXO A – Bibliografias básicas e complementares das disciplinas de Introdução a Química Verde e Experimentação na Educação Química

INTRODUÇÃO A QUÍMICA VERDE

Ação Educativa. A implementação dos objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil e os desafios das metas em educação (2017). Disponível em: http://acaoeducativa.org.br/wpcontent/uploads/2017/02/implementa%C3%A7%C3%A3o_ODS_Brasil.pdf Acesso em 01 ago. 2018.

CORREA, A. G.; ZUIN, V. G. Princípios Fundamentais da Química Verde. In: __ (Org.). Química Verde: Fundamentos e Aplicações. São Carlos: EdUFSCar, 2009, p. 9-22.

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C.; SILVEIRA, C. C. Green chemistry: os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 26, p. 123- 129, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v26n1/14310.pdf>. Acesso em 01 ago. 2018.

QUEIROZ, S. L.; CABRAL, P. F. O. (Org.) *Estudos de caso no ensino de ciências naturais*. São Carlos: Art Point Gráfica e Editora, 2016. 116p. Disponível em: http://www.cdcc.usp.br/livros/2016-Estudos_de_Caso.pdf. Acesso em 01 ago. 2018.

SÁ, L. P.; FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. Estudos de caso em Química. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 731-739, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n3/38.pdf> Acesso em 01 ago. 2018.

SILVA, T. E. M.; BERNARDINELLI, S.; SOUZA, F. F.; MATOS, A. P.; ZUIN, V. G. Desenvolvimento e aplicação de *Webquest* para ensino de química orgânica. *Química Nova na Escola*, v. 38, p. 47-53, 2016. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc38_1/09-RSA-86-13.pdf. Acesso em 01 ago. 2018.

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, p. 79-90, 2015. Disponível em: <http://e.issuu.com/embed.html#2581046/35237402> Acesso em 01 ago. 2018.

ZUIN, V. G.; COUTINHO, P.; DORIA, M. R. P. A.; BARRILLI, Y.; HARAYASHIKI, L. O Programa Atuação Responsável® e a Química Verde. In: PHILIPPI JR., A.; SAMPAIO, C. A. C.; FERNANDES, V. (Org.). *Gestão Empresarial e Sustentabilidade*. 1ed. Barueri: Manole, 2017, v. 1, p. 233- 258.

ZUIN, V. G.; PACCA, J. L. A. Formación docente en química y ambientación curricular: estudio de caso en una institución de enseñanza brasileña. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 31, p. 77-91, 2012. Disponível em <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/285705/373677>. Acesso em 01 ago. 2018.

EXPERIMENTAÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA

BRASIL. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências Matemáticas e da Natureza e suas Tecnologias. Brasília, MEC/SEMTEC, 2006. (Conhecimentos de Química) Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf Acesso em 06 mar. 2019.

GIORDAN, M. O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências. *Química Nova na Escola*, v. 10, p. 43-49, 1999. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf> Acesso em 06 mar. 2019.

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, p. 1, 2006. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID151/v11_n2_a2006.pdf Acesso em 06 mar. 2019.

JIMÉNEZ VALVERDE, G.; LLOBERA JIMÉNEZ, R; LLITJÓS VIZA, A. La atención a la diversidad en las prácticas de laboratorio de química: los niveles de abertura. *Enseñanza de las ciencias*, v.24, n.1, p.59-70, 2006. Disponível em: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/73532/84740>. Acesso em 06 mar. 2019.

SILVA, R.R.; MACHADO, P.F.L.; TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, W.L.; MALDANER, O.A. (Org.) *Ensino de Química em foco*. 1 ed. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 231-261.

ZUIN, V. G. A dimensão ambiental e a Química Verde na formação inicial de professores de Química: reflexões a partir de um estudo de caso. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, v. 8, p. 70-82, 2013. Disponível em: <http://e.issuu.com/embed.html#2581046/3523740> Acesso em 06 mar. 2019.

ZUIN, V. G.; ZUIN, A. A. S. O laboratório de química como locus de experiências formativas. Belo Horizonte: **Revista Ensaio**, v. 19, e2681, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/cJT76vZkCWHYJBqfqqL9n3x/abstract/?lang=pt> Acesso em 06 mar. 2019.

ANEXO B – Proposta experimental desenvolvida pelo Grupo G3 O BIOPLÁSTICO É TECH, É POP, É TUDO?

1 INTRODUÇÃO

Por quase 200 anos, muitos educadores em Ciências têm relatado que as atividades laboratoriais podem ajudar os alunos a atribuir sentido ao mundo natural. Ao longo dos anos, muitos têm argumentado que a Ciência não pode ser significativa para os alunos sem a execução de experimentos práticos no laboratório da escola (HODSON, 1994).

Historicamente, o espaço conhecido como laboratório da escola variou de finalidades, desde ser onde os dados eram recolhidos para ilustrar uma hipótese, até ao exercício de atividade em que os estudantes buscavam padrões ou relações entre os dados obtidos. (HODSON, 1994).

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002), podemos exemplificar que a principal função do trabalho com o tema Meio Ambiente é contribuir para a formação de cidadãos conscientes, aptos a decidir e atuar na realidade socioambiental de um modo comprometido com a vida, com o bem-estar de cada um e da sociedade, local e global.

A crescente preocupação ambiental quanto à poluição e à necessidade de diminuir a dependência da indústria de plástico em relação aos recursos vindos de fontes não renováveis vem incentivando várias pesquisas na busca por alternativas aos materiais utilizados como embalagens. No Brasil, cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos são dispostos indevidamente, deste total 40,5% têm destinação considerada correta em termos sanitários e ecológicos (ZANIN et al., 2004). Além disso, mesmo com todo o avanço da tecnologia nos processos de fabricação, os plásticos possuem dois grandes problemas: o uso de fonte não-renovável, o petróleo por exemplo, para obter sua matéria prima e a grande quantidade de resíduos que são gerados e descartados.

Uma das alternativas para minimizar o problema relacionado ao descarte de resíduos plásticos é a produção de bioplásticos, que são, segundo Queiroz e Collares-Queiroz (2009), materiais que contendo biopolímeros em porcentagem variável podem ser moldadas por ação de calor e de pressão, como as embalagens constituídas de polímeros biodegradáveis obtidos a partir de fontes renováveis, sendo, preferencialmente, também comestíveis, cuja utilização está condicionada às suas propriedades mecânicas e de barreira (COSTA, 2008).

Com o intuito de contemplar o quarto tópico da química verde, que diz que reduzir a formação de resíduos químicos é melhor do que tratá-los depois de formados e, ainda visando diminuir o impacto ao ambiente e na saúde, introduziu-se a produção e testes de bioplásticos por meio de materiais não-convencionais frente ao contexto da poluição atmosférica por microplásticos.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo do experimento

Produção e testes de polímero biodegradável através de uma fonte renovável.

2.2 Objetivos de ensino

- Aplicar conceitos de Química Verde no contexto da poluição atmosférica por microplásticos;
- Realizar o teste de degradação do bioplástico e a impermeabilização do mesmo em água e calcular o teor de umidade do biomaterial;

- Identificar a importância da implementação de novos desenvolvimentos de biomateriais levando em consideração fatores como os materiais utilizados na produção e suas aplicações;
- Oportunizar discussões sobre a produção e aplicação de bioplásticos para a aprendizagem interdisciplinar e que desenvolva senso crítico sobre as questões ambientais.

3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

3.1 Princípios da Química Verde

A aplicação desta prática parte dos ensinamentos do desenvolvimento sustentável, através da aplicação de alguns dos 12 Princípios da Química Verde. Segundo Lenardão *et al.* (2003), são:

- 1) Prevenção: Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou "limpá-lo" após sua geração;
- 2) Economia de átomos: Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final;
- 3) Síntese de produtos menos perigosos: Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente;
- 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;
- 6) Busca pela eficiência de energia: A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes;
- 7) Uso de matérias-primas de fontes renováveis: Sempre que técnica- e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não-renováveis;
- 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.

3.2 Bioplásticos e Biopolímeros

O termo bioplástico pode ser definido segundo dois conceitos: plásticos produzidos utilizando matérias primas renováveis, as quais podem ser convertidas em produtos biodegradáveis ou não biodegradáveis, bem como, plásticos biodegradáveis produzidos a partir de matérias primas renováveis ou fósseis (SECOM, 2007)

A utilização de bioplásticos tem aumentado significativamente nas indústrias nos últimos anos como uma forma de atender a demanda por alternativas que diminuam os impactos ambientais causados pelos resíduos plásticos. Além disso, o investimento feito em prol da viabilização desse tipo de material também tem se mostrado um grande diferencial competitivo para a indústria. Afinal, consumidores de todo o mundo estão se tornando cada vez mais conscientes das questões relacionadas à sustentabilidade e abertos à ideia dos plásticos renováveis. Para se ter uma ideia, a Associação Europeia de Bioplásticos (European Bioplastics) estima produzir 1,7 milhão de toneladas de bioplásticos por ano.

A partir da aplicação de tais princípios da Química Verde, pode-se obter os bioplásticos são definidos como materiais que, contendo biopolímeros em percentagem variável, podem ser moldados por ação de calor e de pressão. Constituem-se, assim, como potenciais alternativas aos polímeros termoplásticos convencionais de origem petroquímica, como por exemplo, poliolefinas e poliésteres (QUEIROZ, COLLARES- QUEIROZ, 2009).

Os biopolímeros, por sua vez, são um tipo especial de polímero que envolve organismos vivos em seu processo de síntese. Tem, portanto, parcial ou totalmente, origem bioquímica, podendo ser parcial ou totalmente produzidos a partir de materiais naturais, renováveis (biomassas) e podendo ser biodegradável ou não.

Portanto, conforme a definição, os biopolímeros podem ser classificados em:

- Polímeros extraídos diretamente de biomassas, com ou sem modificação. Ex.: Polímeros derivados de amido e polímeros derivados de celulose.
- Polímeros produzidos diretamente por microorganismo, no seu estado natural ou geneticamente modificado. Ex.: os PHA's que são poli-hidroxialcanoatos.
- Polímeros produzidos com a participação de bio-intermediários, esses produzidos com matérias-primas renováveis. Ex.: (PLA) poli (ácido láctico), Bio-PE obtido da polimerização de etileno produzido a partir do bio-etanol; BioNylons obtidos via diácidos oriundos de biomassas e Bio-Poliuretanos obtidos via polióis de origem vegetal.

3.3 Teste de impermeabilidade

Um dos principais materiais utilizados para a produção de bioplásticos advém do amido, pois tem características propícias na formação de polímeros biodegradáveis, além de ser abundante na natureza, tem um custo relativamente baixo, sendo possível a produção de material plástico a partir do mesmo numa ampla escala industrial. Embora o amido seja de fácil degradação possui algumas desvantagens quando comparado com embalagens tradicionais, por exemplo, sua baixa resistência mecânica e a permeabilidade em água. Nesse caso se faz necessário modificar as características do produto. Isso é possível com tratamentos físicos, químicos ou biológicos, facilitando a utilização do material plástico biodegradável formado via extrusão.

Já o teor de umidade em água (teste de impermeabilidade) nas amostras de bioplástico foi determinado de acordo com a metodologia de Naime et. al. (2007). Onde foram retiradas e pesadas amostras do biomaterial. Em seguida as amostras são colocadas num Becker com 200 ml de água permanecendo por 2 horas a temperatura ambiente. A porcentagem de massa úmida (U) das amostras foi calculada em relação aos pesos das amostras secas, pela Equação 1,

$$U = [(PU - PS) / PS] 100 \quad (1)$$

Sendo que, PU é o peso em gramas da amostra úmida e PS é o peso em gramas da amostra seca.

4 PROBLEMA

De acordo com Piatti *et al.* (2005), o plástico é um material cujo constituinte fundamental é um polímero, principalmente orgânico e sintético, sólido em sua condição final, como produto acabado, e que em alguma fase de sua produção foi transformado em fluido, adequado à moldagem por ação de calor ou pressão. A demanda na procura de materiais poliméricos

estes materiais possuem propriedades funcionais, versatilidade e um custo baixo que favorecem no seu processamento e na sua utilização em várias aplicações (FECHINE *et al.*, 2011). Apesar dessas boas características, estes materiais apresentam fatores desfavoráveis ambientalmente. Primeiro, trata-se da sua origem, advinda do petróleo, uma fonte não renovável, materiais hidrofóbicos que não permitem a ação de microrganismos em sua cadeia molecular, levando centenas de anos para se decompor sendo que, estes materiais têm uma descartabilidade muito rápida, causando um grande acúmulo em aterros sanitários e lixões (FRANCHETTI *et al.*, 2006).

Um estudo produzido pela Universidade de Exeter, no Reino Unido, em 2018, em parceria com a Organização Não Governamental (ONG) ambientalista *Greenpeace*, relatou a contaminação de amostras de neve e água da Antártica por micropartículas de polímeros sintéticos. Medindo menos de 5 milímetros de diâmetro, as micropartículas plásticas são uma das maiores ameaças ambientais emergentes da atualidade, segundo a ONU. Sua ampla dispersão pelos ecossistemas marinhos e dificuldade de degradação põem em risco a saúde dos organismos que habitam os oceanos, e afetam toda a cadeia alimentar.

Em março de 2019 uma baleia da espécie "baleia-bicuda-de-cuvier", foi resgatado a leste da cidade de Davao, por uma equipe do Museu D' Bone Collector - ONG dedicada a ações de educação sobre a vida selvagem e à recuperação de animais mortos. Em um post no Facebook, a ONG informou que "a causa final da morte da baleia foram 40 quilos de sacolas plásticas, incluindo 16 sacos de arroz, 4 sacos usados em plantações como a de bananas e várias sacolas de compras". Junto com diversas imagens, a organização acrescenta que nos próximos dias vai publicar uma relação completa dos resíduos plásticos encontrados no estômago do animal e que a quantidade de lixo que ele engoliu foi a maior já vista até agora em uma baleia. Em entrevista à CNN, o fundador e presidente do museu, Darrell Blatchley, disse que "não estava preparado para tamanha quantidade de plástico". "Era muito plástico e ele estava começando a calcificar [a ficar rígido por acúmulo de sais de cálcio]."



Figura 1: Reprodução da foto do Museu *D' Bone Collector Museum Inc.*

A poluição por plástico nos oceanos tem sido apontada como ameaça a diversas espécies de animais no mundo - em alguns países do Sudeste Asiático, incluindo as Filipinas, o uso de plástico descartável é considerado um problema grave.

Cinco nações asiáticas - China, Indonésia, Filipinas, Vietnã e Tailândia - respondem por até 60% do lixo plástico que acaba nos oceanos, de acordo com um relatório de 2015 da *Ocean Conservancy* e do *McKinsey Center for Business and Environment*.

acidentalmente ao se alimentar ou ao confundi-lo com o próprio alimento. A explicação de pesquisadores é que o plástico não só parece, mas também tem cheiro de comida.

Em junho de 2018, uma baleia-piloto morreu na Tailândia depois de engolir 80 sacolas plásticas. Sua morte aconteceu pouco depois de um relatório do governo do Reino Unido ter revelado que o nível de plástico no oceano poderia triplicar em uma década, a menos que medidas sejam tomadas para conter a poluição.

Dessa forma tem se reconhecido a necessidade de reduzir a utilização de materiais plásticos e a sua reciclagem está se tornando quase que uma obrigação para os fabricantes e consumidores, esse processo depende, em grande parte, da coleta seletiva do produto e esta não atinge a totalidade dos recicláveis descartados na natureza.

Uma matéria-prima utilizada para este fim é o amido, pois tem características propícias na formação de polímeros biodegradáveis, além de ser abundante na natureza, tem um custo relativamente baixo, sendo possível a produção de material plástico a partir do mesmo numa ampla escala industrial.

Diante dos problemas apresentados e da necessidade de pensar em produtos que não causem danos ao meio ambiente, como você produziria o bioplástico a partir do amido e como provaria que poderia ser um bom substituto aos plásticos advindos do petróleo?

5 MATERIAIS E REAGENTES

5.1. Produção de Bioplástico

- 30 g de farinha de tapioca
- 50 mL ácido cítrico (Equivalente a suco de 6 limões)
- Água de torneira
- 1 Espátula metálica
- 1 Bastão de vidro
- Béqueres de vidro de 250 mL
- Balança eletrônica (ou similar)
- Proveta de 50 mL ou 100 mL
- 1 Forma metálica
- 1 Forno elétrico
- 1 Filtro de linha (Extensão de tomada)

*As quantidades de cada material e reagente podem sofrer alterações de acordo com os questionamentos/hipóteses/procedimento pensado pelo grupo.

**Para o teste de degradação, o mesmo será realizado previamente pelos discentes e levado somente para visualização dos alunos no momento do experimento.

6 PROCEDIMENTOS

6.1 Procedimento Experimental

6.1.1 Produção do Bioplástico

Com o auxílio de uma balança eletrônica, tara-se um béquer de vidro e pesa-se 30 gramas de farinha de tapioca. Reservar.

Em uma proveta volumétrica, mede-se um volume de 50 mL de suco de limão.

Posteriormente, adiciona-se o mesmo ao béquer contendo a farinha de tapioca previamente pesada, mexendo-a com o auxílio de um bastão de vidro até formar uma

pasta homogênea. Após realizada a mistura, deve-se colocar a pasta em uma forma de alumínio e levar ao forno – que deve estar previamente aquecido em 180 °C – por 15 minutos. Ao final dos 15 minutos, deixa-se a forma em repouso por 6 horas.

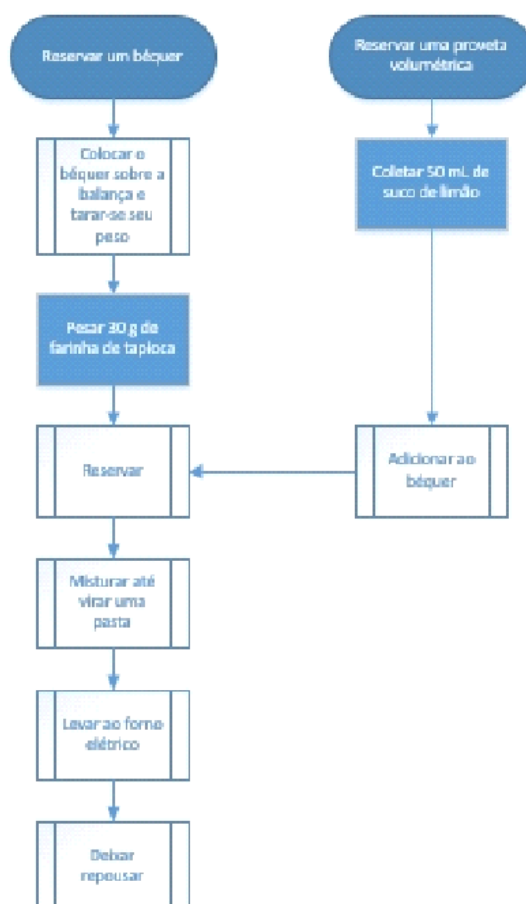


Figura 2: Fluxograma da Produção do Bioplástico

6.1.2 Teste de impermeabilidade

Inicialmente deve-se pesar um pedaço do bioplástico em uma balança eletrônica e anotar o peso obtido. Após, em um béquer, deve-se colocar o mesmo pedaço de bioplástico e colocar uma alíquota de água de torneira de maneira a deixar a amostra submersa por alguns minutos. Após o tempo determinado, deve-se secar as amostras com papel e pesar novamente na balança eletrônica, de modo a se obter um peso constante. Com os valores de massa seca e úmida, é possível calcular o teor de umidade das amostras.

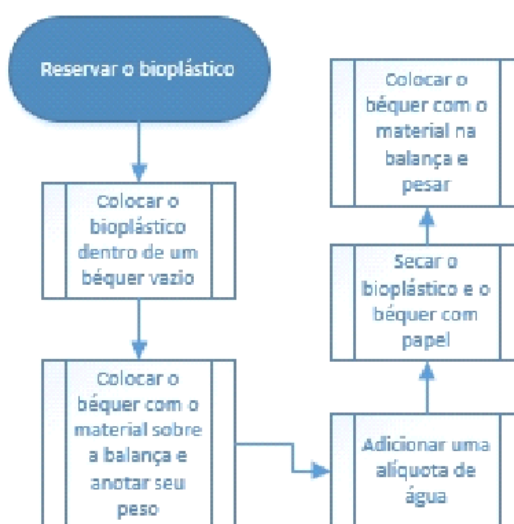


Figura 3: Fluxograma do teste de impermeabilidade

6.2 Procedimento Didático

Planejamento para dois encontros com utilização de três aulas com duração de 50 minutos cada.

1º encontro (uma aula):

Será realizada uma apresentação abordando a formação acadêmica e os objetivos dos licenciandos aos alunos nos primeiros minutos da aula.

Como forma de auxílio na contextualização da temática escolhida, os alunos receberão *QR Codes*, como mostra a Figura 2, e orientações para acessarem o WebQuest (Figura 3) em seus respectivos dispositivos para navegarem no ambiente, seja acessando os sites recomendados ou/e se preparando para o debate dos especialistas no próximo encontro.



Figura 2: *QR Codes*.



Figura 4: Página inicial do WebQuest.

Em seguida os alunos deverão formar cinco grupos de especialistas (Químicos, Especialistas em Sustentabilidade, Fabricantes de Plástico, Alunos da ETEC e Moderadores) acordo com o sorteio realizado pelos licenciandos.

Após a formação dos grupos, haverá apresentação das vidrarias e os materiais que serão utilizadas no experimento, assim como questionamentos prévios sobre conceitos de Sustentabilidade e Impactos Ambientais.

O Roteiro experimental se apresentará como um guia que poderá ser adaptado de acordo com os questionamentos e hipóteses levantados pelos alunos. Portanto, ele se apresentará como um guia ao procedimento adotado pelos alunos.

2º encontro (duas aulas):

Revisão dos conceitos abordados no 1º encontro e finalização do experimento com os testes de impermeabilidade e degradação.

Cada grupo passará por acompanhamento individual para apresentar aos licenciandos suas principais ideias e pontos fortes para o debate. O WebQuest terá duração prevista de uma aula e estará sob responsabilidades dos alunos sob supervisão dos licenciandos e professora da turma.

Finalizado o debate do WebQuest, os alunos serão orientados a realizar a utilizarem seus celulares para leitura do *QR Code* do Quiz e a realização do mesmo via celular.

Ao final da aula será disponibilizado um formulário (Figura 4) que deverá ser acessado no WebQuest para que os alunos possam avaliar seus conhecimentos e o desenvolvimento/organização das aulas ministradas pelos licenciandos.

Figura 5: Questionário de autoavaliação dos alunos e avaliação da aplicação do projeto.

7 CUIDADO COM SEGURANÇA E DESCARTE DE RESÍDUOS

Os cuidados no momento de realização do experimento podem ser vistos somente no momento de colocar a pasta no forno elétrico pré-aquecido, que neste momento será realizada pelos discentes. Quanto aos resíduos gerados durante o processo de produção do bioplástico, que podem ser identificados por: água de torneira (descarte na pia); bioplástico (reutilizado para análise em microscópio e segundo a literatura começa seu processo de degradação em 15 dias, teste que será realizado também pelos discentes).

8 CUSTO

Material/ Reagente	Preço (R\$)
Farinha de tapioca 500 g	6,00 un.
Limão comum	3,40/ kg

*Os demais materiais serão obtidos por meio de empréstimos em laboratórios de ensino e/ou por parte dos licenciandos.

9 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Q. A.R.; VAL, B.; BASSETI, B.; STUTZ, S.; GOMES, T.; AVERSA, T. M. Utilização dos conceitos da Química Verde em aulas práticas de laboratório. In: XVIII ENEQ, 2016, Florianópolis. XVIII ENEQ, 2016.
- BARBOSA, V. “*Poluição por microplásticos já atinge até a antártica, alerta estudo*”. Revista Exame, São Paulo, 11 de jun. 2018. <<https://exame.abril.com.br/ciencia/poluicao-por-microplasticos-ja-atinge-ate-a-antartica-alerta-estudo/>> acesso em 18 de abr. 2019.
- BASSETI, B.; ARISTEU, G.; STUTZ, S.; GOMES, T. *Oficina temática de experimentos em química*. Revista Extensão & Cidadania, v. 5, p. 1, 2018.
- BBC News Brasil. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-47614367>. Acesso em 19 abril de 2019.
- BRASIL. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências Matemáticas e da Natureza e suas Tecnologias*. Brasília, MEC/SEMTEC, 2006. (Conhecimentos de Química) Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf. Acesso em 18 abr. 2019.
- COSTA, D.L.M.G. *Produção por extrusão de filmes de alto teor de amido termoplástico de mandioca com poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT)*. Londrina, 2008. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina.
- FAKHOURI F. M. *Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis a base de amido e gelatina*. Tese de doutorado, FEA- UNICAMP 2009.
- FECHINE, G. J. M. et. al. *Estudo da biodegradabilidade de polímeros por meio do respirômetro de bartha*. Rev. Mackenzie de Engenharia e Computação, v. 11, n. 1 – Ed. Especial, p. 46-55, 2011.
- FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. *Polímeros biodegradáveis: uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos*. Química Nova, v. 29, n. 4, p.811-816,2006.
- JURAS, L. A. G. M. **Plásticos Biodegradáveis**. Consultora Legislativa da Área XI Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional, Brasília- DF, 2013.

- LEE, S. Y.; CHOI, J.; *Polym. Degrad. Stab.* 1998, 59, 387.
- 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 na Escola*, vol. 26, n.1 São Paulo Jan./Feb. 2003.
- NAIME, N. et. al. Espumas de fécula de mandioca com plastificantes. In: Congresso Brasileiro de Polímeros, 9., 2007. Anais... 9º CBPol. Campina Grande, 2007. Disponível em: <www.ipen.br/biblioteca/2007/cbpol/12201.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- PIATTI, T. M. et. al. *Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais*. Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas. Maceió, 2005. 51p.
- SECOM. **Embaixada do Brasil em Tóquio: Estudo de mercado – Bioplásticos**. Disponível em: <<http://www.brasemb.or.jp/portugues/economy/pdf/Bioplasticos07.pdf>>. Acesso em 09/05/2019.
- SILVA, R. S.; COELHO, T. M.; ASSAD, N. F. *Utilização de amido de mandioca para elaboração de bandeja biodegradável*. In: VI Encontro de Produção de Engenharia de Produção Agroindustrial, 2012, Campo Mourão. VIEEPA, 2012. v. 1.
- SILVA, P. P. G. **Contaminação e toxicidade de microplásticos em uma área de proteção marinha costeira**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.
- QUEIROZ, A.U.B. & COLLARES-QUEIROZ, F.P. *Innovation and industrial trends in bioplastics*. *Polymer Reviews*, in press, 2009.
- ZANIN, M., MANCINI, S.D. *Resíduos plásticos e reciclagem: Aspectos gerais e tecnologia*. EdUFSCar, 143p. São Carlos, Brasil. 2004.

SÍNTESE DE BIOPLÁSTICO

1. INTRODUÇÃO

Ao andar por mercados ou outros estabelecimentos comerciais, é comum se deparar com uma quantidade considerável de embalagens plásticas: desde frascos de produtos até a própria sacolinha plástica. Com uma fonte não renovável de obtenção, a utilização desse polímero está sendo muito questionado pela população em geral, sendo que várias alternativas estão sendo tomadas com o intuito de diminuir o consumo excessivo do material (AZEVEDO; ALMEIDA; SANTOS, 2017). Ainda assim, pode-se observar que o plástico ainda está muito presente no dia a dia dos cidadãos, já que, apesar de terem várias pesquisas considerando esse aspecto, a tecnologia necessária para que haja uma real revolução no consumo ainda não chegou ao cotidiano das pessoas (SILVA, 2001). Por isso, faz-se necessário que haja uma conscientização desde cedo, para que cada vez mais jovens cresçam com um senso crítico bem fundamentado sobre o assunto. Em contexto escolar, os jovens começam a ter o contato com questões ambientais de atitudes simples do cotidiano, porém é necessário que haja uma conscientização que vai além da noção de escovar os dentes com a torneira fechada para não desperdiçar água, por exemplo. A compreensão da importância da preservação deve se estender a todos os contextos, incluindo a diminuição na geração de resíduo plástico. Dessa forma buscamos desenvolver nessa proposta experimental a produção de bioplástico a partir de matérias comuns de fontes renováveis.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo do experimento

Obter bioplástico a partir de matérias comuns de fontes renováveis.

2.2. Objetivos de ensino

- Reconhecer como o consumismo da sociedade atual pode trazer à tona questões ambientais.
- Conscientizar-se os impactos da poluição, principalmente por utilização e descarte indevido de plástico.
- Relacionar os mecanismos de formação de polímeros a partir de polissacarídeos.
- Reconhecer a importância do desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

3. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

O amido é um polissacarídeo muito comum e abundante na natureza (MENDES, 2009). Ele é composto, principalmente, por dois polissacarídeos: a amilose e a amilopectina em concentrações variadas. As estruturas desses compostos estão representadas nas figuras 1 e 2.

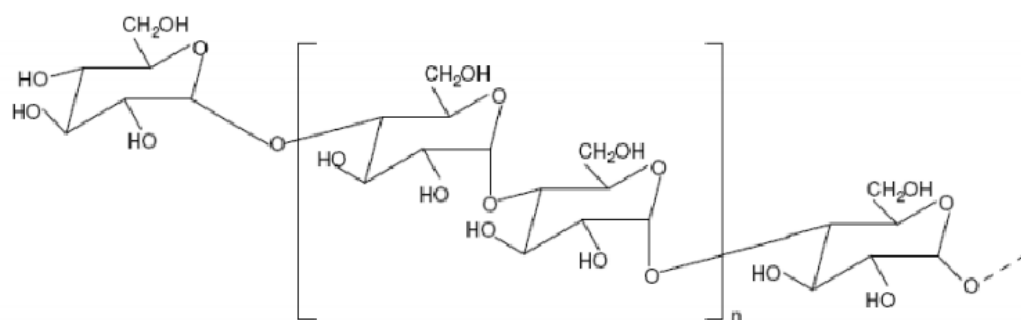


Figura 1. Estrutura da amilose (MENDES, 2009).

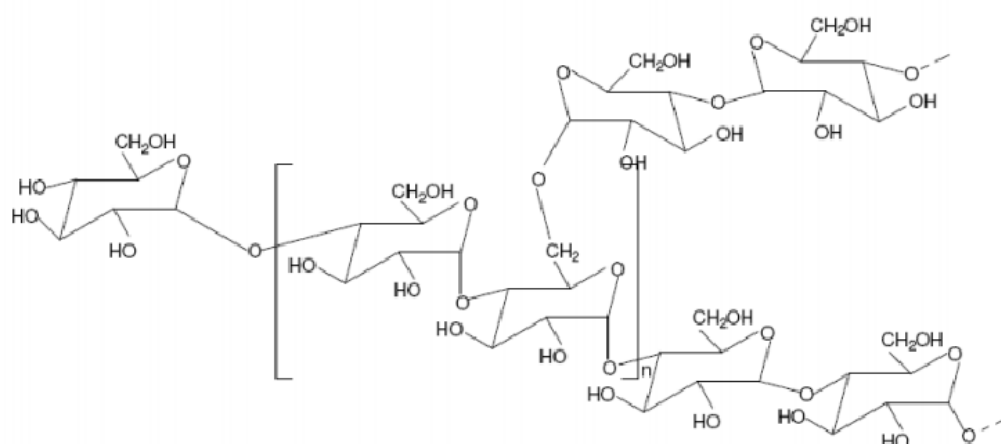


Figura 1. Estrutura da amilopectina (MENDES, 2009).

Para a formação do amido termoplástico biodegradável, é necessário utilizar dispersantes (ou plastificantes). O plastificante escolhido deve ter algumas características que favorecem a utilização dele para flexibilizar o polissacarídeo, aumentando a mobilidade das cadeias macromoleculares (AZEVEDO; ALMEIDA; SANTOS, 2017). Dentre as características, destaca-se: ter uma boa interação com o polissacarídeo utilizado, ter um alto ponto de ebulição e ser fácil de ser extraído. A água pode ser utilizada para romper as ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares, atuando como agente plastificante. Porém, é necessário um outro plastificante comercial, como o óleo de cozinha ou o glicerol, a fim de obter um material mais maleável com características termoplásticas e com melhor desempenho mecânico (MENDES, 2009).

4. PROBLEMA

O plástico comum é um material que, além de provir de fonte não renovável de matéria, demora milênios para se decompor, causando grandes impactos ambientais se não descartados adequadamente. Por isso, atualmente faz-se necessária a utilização de uma tecnologia mais sustentável ao plástico comum, como o bioplástico proveniente de materiais de fontes renováveis e biodegradáveis. Nesse contexto: é possível obter um plástico a partir de fontes naturais?

5. MATERIAIS E REAGENTES

- 5 g do polissacarídeo (amido de milho);
- 2 mL de dispersante (glicerina ou óleo de cozinha);
- 50 mL de água destilada;
- 6 mL de HCl com concentração 0,1 mol/L.
- Solução NaOH 0,1 mol/L.
- Balança analítica;
- Agitador magnético com aquecimento;
- Barra magnética;
- Placa;
- Proveta;
- Béquer.

6. PROCEDIMENTOS

6.1 Procedimento Experimental

Em balança analítica, pesa-se 5 g do polissacarídeo, que é depositado em um béquer. Com auxílio de proveta, mede-se 2 mL de dispersante, 50 mL de água destilada e 6 mL de HCl 0,1 mol/L. Todos os reagentes são misturados ao béquer com o polissacarídeo. Então, com o auxílio de um agitador magnético e barra magnética, a solução é colocada em aquecimento e agitação por 20 minutos. A solução é neutralizada com hidróxido de sódio e mantida em aquecimento por mais 15 minutos. Então, a solução polimérica é depositada sobre uma placa para resfriamento por 24h.

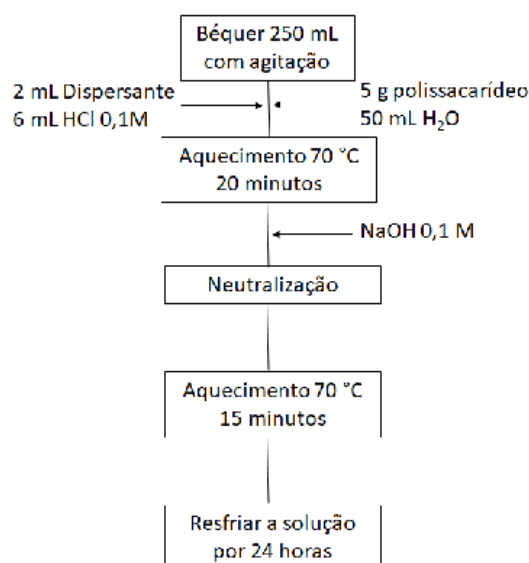


Figura 2. Fluxograma representando as etapas experimentais para a síntese do bioplástico.

6.2 Procedimento Didático

No tempo inicial da aula, será abordada uma discussão acerca da importância da utilização de materiais biodegradáveis, especialmente substituindo o plástico comum,

pelos licenciandos. Ao final do experimento, quando o material já estiver na placa para resfriamento, será mostrado um material em que o bioplástico já está pronto para que seja observado o resultado final. Então, novamente será levantada uma discussão que incentive os alunos a apoiarem o desenvolvimento de tecnologias que sejam a favor do meio ambiente a partir de questões como: (i) qual a importância da utilização de materiais biodegradáveis? (ii) o bioplástico poderia suprir o uso de plásticos convencionais em algum setor?

7 CUIDADO COM SEGURANÇA E DESCARTE DE RESÍDUOS

É necessário ter cuidado ao utilizar o agitador magnético, a fim de evitar acidentes como queimaduras. Dentre os reagentes, o único que oferece risco é o ácido clorídrico, já que pode causar queimaduras e irritabilidade na pele, olhos e sistema respiratório. Deve ser manuseado em capela com EPI's adequados. Case não haja capela, realizar o experimento em local arejado e com uma ventilação que minimize ao máximo a inalação do produto.

Se houver resíduo de HCl, este deve ser descartado em frasco apropriado para posterior tratamento. O bioplástico formado por ser descartado em lixeira comum, já que é facilmente decomposto.

8 CUSTO

Item	Quantidade	Preço aproximado (R\$)
Amido de milho (pacote 500g)	1	3,50
Óleo de cozinha	1	2,80

9. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A., R.; ALMEIDA, V., M.; SANTOS, S., A., S. Síntese de bioplásticos feitos com polímeros naturais: uma alternativa para a gestão ambiental. **Conhecimento & Diversidade**, Niterói, v. 9, n. 19, p. 59–70, 2017.

SILVA, A., M. et al. Plásticos: molde você mesmo! **Química Nova na Escola**, n. 13, p. 47-48, 2001.

MENDES, F. M. Produção e Caracterização de Bioplástico a partir do Amido de Batata, 2009. **Dissertação** (mestrado em química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BURATTI, J.; JUNIOR, F., G. Biodiesel e Bioplásticos como tema gerador para problematização de tópicos de química no ensino médio. In: Encontro Nacional de Ensino de Química e Encontro de Educação Química da Bahia, 16. e 10., 2012, Salvador. Anais... Sinop: UFMT, 2012.

CARDOSO, M., F., G., et al. **Bioplásticos: soluciones ambientales**. Ciudad de México, 2016.