

COLÉGIO PEDRO II

Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Química

Thaysa Ayres de Miranda Rodrigues

**A INSERÇÃO DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO MÉDIO:
UMA ANÁLISE DE LIVRO DIDÁTICO**

Rio de Janeiro
2020



Thaysa Ayres de Miranda Rodrigues

**A INSERÇÃO DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO MÉDIO:
UMA ANÁLISE DE LIVRO DIDÁTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Química, vinculado à Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Ensino de Química.

Orientadora Professora MSc. Júlia Damazio Bouzon.

Rio de Janeiro
2020

COLÉGIO PEDRO II
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E CULTURA
BIBLIOTECA PROFESSORA SILVIA BECHER

CATALOGAÇÃO NA FONTE

R696 Rodrigues, Thaysa Ayres de Miranda

A inserção da química verde no ensino médio: uma análise de livro didático / Thaysa Ayres de Miranda Rodrigues. - Rio de Janeiro: Colégio Pedro II, 2020.

103 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Química) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura.

Orientador: Júlia Damazio Bouzon.

1. Química – Estudo e ensino. 2. Química verde. 3. Química (Ensino médio). I. Bouzon, Júlia Damazio. II. Colégio Pedro II. III Título.

CDD 540

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Simone Alves – CRB7 5692.

Thaysa Ayres de Miranda Rodrigues

**A INSERÇÃO DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO MÉDIO:
UMA ANÁLISE DE LIVRO DIDÁTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Química vinculado à Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Ensino de Química.

Aprovado em: 26/11/2020.

Prof^ª. MSc. Júlia Damazio Bouzon
Colégio Pedro II

Prof^ª. MSc. Isabella Ribeiro Faria
Colégio Pedro II

Prof^ª. MSc. Juliana Barreto Brandão
CEFET/RJ

A Helisa Ayres de Andrade, mãe, amiga, em quem sempre depus confiança e encontrei abrigo. A esta mulher guerreira, que sempre lutou incansavelmente por mim.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus. Ao único que é digno de receber toda honra e toda glória. Ao Deus, que me sustenta, ampara e fortalece. A Ti, Senhor, minha gratidão por me permitir realizar mais este feito.

À minha família: mãe, padrasto, irmãos e Thor. Agradeço a vocês por investirem em mim, por acreditarem nos meus sonhos e me incentivarem a seguir lutando. Vocês fazem parte de todas as minhas conquistas e esta, como todas as demais, eu dedico a vocês. À minha base, meu mais sincero agradecimento.

Ao meu marido, por todo o companheirismo. Me faltam palavras para expressar o quanto você foi importante ao longo de todo este trabalho.

Aos meus amigos, por compreenderem a ausência temporária e por todo incentivo. Em especial, aos amigos da turma do curso de Especialização em Ensino de Química do Colégio Pedro II, que tornaram esta jornada muito mais leve e divertida.

À minha querida orientadora Júlia Damazio Bouzon, por aceitar fazer parte desta pesquisa. Agradeço sua dedicação, paciência e carinho.

A todos os docentes deste curso de pós-graduação, por tantos ensinamentos. Vocês seguirão guardados em meu coração.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente. Deus vos guarde no Seu amor!

Não estejais inquietos por coisa alguma; antes as vossas petições sejam em tudo conhecidas diante de Deus pela oração e súplica, com ação de graças. E a paz de Deus, que excede todo o entendimento, guardará os vossos corações e os vossos pensamentos em Cristo Jesus.

Filipenses 4: 6-7.

RESUMO

RODRIGUES, Thaysa Ayres de Miranda. **A Inserção da Química Verde no Ensino Médio: uma análise de livro didático.** 2020. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Química) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Rio de Janeiro, 2020.

Os atuais problemas ambientais mundiais são frequentemente associados à exploração desenfreada dos recursos naturais para atender às demandas de produção e consumo. Frente a urgência de repensar esses padrões, em um contexto de degradação cada vez mais acentuado, a presente pesquisa foi realizada com o objetivo de ressaltar o potencial formativo da Química Verde (QV) à Educação Básica de Nível Médio, de modo a promover valores e atitudes mais sustentáveis por parte dos estudantes e demais envolvidos no processo de ensino e aprendizagem. O trabalho foi realizado a partir de uma análise qualitativa descritiva do livro didático “Química I”, de autoria da professora Martha Reis Marques da Fonseca, que atende ao público do 1º ano do Ensino Médio Regular do Colégio Pedro II desde 2018. O exame do material buscou identificar de que forma e com que profundidade a QV está presente na obra para, então, atuar dentro das lacunas por meio de sugestões de sequências metodológicas em QV, somadas a avaliação do grau de veracidade química dos experimentos, sendo considerada a preocupação com a segurança química e com o descarte e tratamento de resíduos, além da construção da métrica holística matriz verde. A análise do livro didático revelou que, apesar da obra apresentar apenas uma referência direta a QV, quando a define na legenda de uma imagem, existem várias lacunas onde a filosofia pode vir a ser inserida de forma reflexiva. Na avaliação dos roteiros experimentais ficou evidente o cuidado da autora em priorizar materiais alternativos e favorecer a contextualização, mas observou-se a ausência ou incompletude de informações quanto à segurança e ao direcionamento adequado dos resíduos, em alguns casos. As propostas de inclusão de ideias verdes e/ou de esverdeamento das práticas foram apresentadas ao longo da discussão dos resultados da pesquisa com o intuito de contribuir para o despertar de uma mentalidade voltada à preocupação com o planeta. O estudo permite inferir que a inserção da QV nos livros didáticos de Química pode contribuir, de forma significativa, ao alcance de uma educação escolar para o desenvolvimento sustentável, pois se entende que o livro didático ocupa um lugar privilegiado no contexto escolar, sobretudo, quando considerada a realidade social que exclui grande parcela da população brasileira do acesso à internet e outras fontes de informação, e que a filosofia verde é uma vertente potencialmente capaz de provocar mudanças e criar novos valores.

Palavras-chaves: Química Verde. Livro Didático. Ensino Médio.

ABSTRACT

RODRIGUES, Thaysa Ayres de Miranda. **A Inserção da Química Verde no Ensino Médio: uma análise de livro didático.** 2020. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Química) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Rio de Janeiro, 2020.

The current global environmental problems are often associated with the unstoppable exploration of natural resources to attend to the demands of production and consumption. Given the urgency to rethink these patterns, in a context of accentuated degradation, the present research was performed to highlight the formative potential of Green Chemistry (GC) to Basic Education at the High School Level, to promote values and more sustainable attitudes by students and others involved in the teaching and learning process. The work was realized from a qualitative descriptive analysis of the didactic book “Chemistry I”, authored by professor Martha Reis, who serves the public in the 1st year of Regular High School at Colégio Pedro II since 2018. The examination of the material sought to identify how and how deeply GC is present in the work so that it can act within the gaps through suggestions of methodological sequences in GC. Added to the evaluation of the degree of the greenness of the experiments, considering the concern with chemical safety and with the disposal and treatment of waste, in addition to the construction of the holistic green metric matrix. The textbook analysis revealed that, although the work presents only a direct reference to GC when it defines it in the caption of an image, there are several gaps where philosophy can be reflexively inserted. In the evaluation of the experimental scripts, it was evident that the author was careful to prioritize alternative materials and favor contextualization, but there was an absence or incompleteness of information regarding safety and the proper direction of waste, in some cases. The proposals for including green ideas and/or greening the practices were presented throughout the discussion of the research results to contribute to the awakening of a mentality focused on the concern for the planet. The study allows us to infer that the inclusion of GC in Chemistry textbooks can significantly contribute to the achievement of school education for sustainable development, as it is understood that the textbook occupies a privileged place in the school context. Especially when considering the social reality that excludes a large portion of the Brazilian population from access to the internet and other sources of information, and that green philosophy is a potential strand capable of causing changes and creating new values.

Key Words: Green Chemistry. Didactic Book. High School.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – As fases da economia circular.....	26
Figura 2 – Representação da Química Verde feita no livro didático “Química I”.....	47
Figura 3 – Litro de água captada por litro de bebida produzida pela Coca-Cola entre 2001 e 2018.....	49
Figura 4 – Calculadora da pegada ecológica.....	50
Figura 5 – Total de agrotóxicos registrados (por ano) de 2005 a maio de 2020.....	56
Figura 6 – Esquema do ciclo de vida do PE verde.....	57
Figura 7 – Experimento do conteúdo de Propriedades da Matéria.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os 12 princípios da Química Verde.....	19
Quadro 2 – Esquema ilustrativo de uma análise SWOT.....	32
Quadro 3 – Categorias de análise e respectivos enfoques.....	40
Quadro 4 – Roteiro para análise do grau de verdura química dos experimentos.....	40
Quadro 5 – Critérios para avaliação do cumprimento dos princípios da QV.....	41
Quadro 6 – Critérios para análise da verdura química de experimentos.....	42
Quadro 7 – Riscos associados aos critérios de análise da verdura química.....	43
Quadro 8 – Dimensões externas da análise SWOT aplicada a matriz verde.....	44
Quadro 9 – Resultado da análise de categorias.....	48
Quadro 10 – Enumeração dos experimentos do livro “Química I”.....	62
Quadro 11 – Resultados da primeira parte do roteiro para análise da verdura química dos experimentos.....	63
Quadro 12 – Resultados da segunda parte do roteiro para análise da verdura química dos experimentos.....	70
Quadro 13 – Matriz Verde do experimento 1 (Densidade e correntes de convecção).....	73
Quadro 14 – Matriz Verde do experimento 2 (Indícios de transformações químicas).....	75
Quadro 15 – Matriz Verde do experimento 3 (Indicadores ácido base).....	76
Quadro 16 – Matriz Verde do experimento 4 (Combustão na balança de pratos).....	78
Quadro 17 – Matriz Verde do experimento 5 (Eletrólise da água).....	78
Quadro 18 – Matriz Verde do experimento 7 (Eletrólitos e não eletrólitos).....	80
Quadro 19 – Matriz Verde do experimento 8 (Polaridade e solubilidade).....	81
Quadro 20 – Matriz Verde do experimento 9 (Bolhas mais resistentes).....	81
Quadro 21 – Matriz Verde do experimento 10 (Crescimento de cristais).....	82

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS.....	16
3.1 Introdução à Química Verde	16
3.1.1 Breve contexto histórico	16
3.1.2 Os 12 princípios.....	19
3.1.3 Conceitos verdes que incentivam práticas sustentáveis	24
3.1.4 Métricas de verdura química – Matriz verde.....	31
3.2 Introdução à análise de livro didático	32
3.2.1 Livro didático de Química do Ensino Médio	32
3.2.2 O ensino de Química Verde e o livro didático de Química.....	35
3.2.3 Breve explanação acerca da análise de conteúdo	37
4. PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS.....	39
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS	46
5.1 Análise geral e propostas de sequências metodológicas em QV	46
5.1.1 Unidade 1 – Mudanças climáticas	48
5.1.2 Unidade 2 – Oxigênio e ozônio	52
5.1.3 Unidade 3 – Poluição eletromagnética	54
5.1.4 Unidade 4 – Poluição de interiores.....	55
5.1.5 Unidade 5 – Chuva ácida.....	59
5.2 Análise do grau de verdura química dos experimentos	61
5.2.1 Avaliação da preocupação com a segurança química	63
5.2.2 Avaliação da preocupação com o tratamento de resíduos químicos	69
5.2.3 Construção das matrizes verdes.....	73
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS	86
ANEXO A – EXPERIMENTOS DO LIVRO “QUÍMICA I”	94
ANEXO B – PICTOGRAMAS DE PERIGO	101

1. INTRODUÇÃO

Durante muitos anos o homem se dedicou a produzir o necessário à sua subsistência dispondo apenas de habilidades manuais e algumas ferramentas básicas de trabalho. No entanto, com o início da Revolução Industrial, em meados do século XVIII, o homem sai do campo em direção às fábricas. A partir desse momento, o processo produtivo e as relações de trabalho sofrem grandes transformações, de modo que o trabalho manual e artesanal, sujeito às limitações humanas, passa a ser substituído por máquinas de produção mais rápidas e padronizadas.

O desenvolvimento industrial sucede ao passo em que a Ciência avança e gera conhecimento e tecnologia. Contudo, toda atividade industrial produz impactos e, com o tempo, a demanda por insumos e matérias-primas capazes de manter o contínuo crescimento das indústrias, provoca mudanças que atingem o modelo de produção e a relação do homem com a natureza, dando início a um ciclo de exploração desenfreada dos recursos naturais. Na busca pelo progresso, a degradação do meio ambiente atinge escala global e apesar do aumento na qualidade de vida, a modernidade ocasiona uma cadeia de impactos ambientais e prejuízos a sustentabilidade do planeta: esgotamento do solo, escassez de água, poluição, aquecimento global, efeito estufa, entre outros danos. Segundo Farias e Fávares (2011), em pouco mais de 200 anos, desde o início do século XIX, a degradação e a poluição do meio ambiente atingiram números expressivamente maiores do que em 10.000 anos de história.

Frente à necessidade de repensar o modelo de produção vigente, surge no campo da Química, na década de 90, uma vertente destinada a implementar ações capazes de reduzir os danos causados ao meio ambiente através da concepção de produtos e processos químicos mais seguros e menos poluentes, a chamada Química Verde (QV). Esta vertente se fundamenta em doze princípios que, juntos, se tornam norteadores de processos fabris mais limpos: 1 – prevenção; 2 – economia de átomos; 3 – síntese de produtos menos perigosos; 4 – desenho de produtos seguros; 5 – solventes e auxiliares mais seguros; 6 – busca pela eficiência de energia; 7 – uso de fontes renováveis de matéria prima; 8 – evitar a formação de derivados; 9 – catálise; 10 – desenho para a degradação; 11 – análise em tempo real para a prevenção da poluição; 12 – química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Os doze princípios revelam como a QV prioriza ações preventivas quanto à poluição e à segurança no processo industrial, desde a idealização até o destino dado aos materiais, pós-consumo, com o intuito de assegurar o uso racional dos recursos naturais e preservá-los em

benefício das gerações presentes e futuras. Esta perspectiva, entretanto, precisa ser acompanhada por uma série de esforços como: mobilização social que envolva a comunidade científica, a indústria química e os setores da sociedade – Estado, iniciativa privada e sociedade civil –; investimento em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias limpas; implementação de políticas públicas de controle e prevenção da poluição, bem como do descarte e tratamento de resíduos tóxicos; formação acadêmica que privilegie um conhecimento teórico/prático flexível às exigências sociais e consciente quanto aos problemas ambientais (FARIAS; FÁVARO, 2011; LENARDÃO *et al.*, 2003).

No ímpeto de tentar alcançar este último esforço, muitas instituições de ensino vem incorporando a filosofia da QV em seus currículos; o que, no Brasil, tem ocorrido, principalmente, nas escolas de nível superior, sob a forma de experimentos em Química Orgânica, visando o esverdeamento de roteiros (ZANDONAI *et al.*, 2014). Esta inserção gradativa demonstra preocupação com a formação de químicos mais despertos aos atuais desafios da profissão no sentido da busca pelo desenvolvimento sustentável, sobretudo do setor industrial, para o qual muitas pesquisas acadêmicas estão sendo direcionadas, ao longo dos últimos anos (ALMEIDA *et al.*, 2019).

Por ser um campo de estudo relativamente recente, é de se esperar que a QV ainda não tenha alcançado, de forma expressiva, outros espaços de aprendizagem, como as salas de aula das escolas de educação básica e os ambientes de convívio social de seus alunos. Não obstante, o ensino da filosofia verde no Ensino Médio oportuniza aos jovens conhecimento sobre o ecossistema terrestre, seus recursos e meios de preservá-lo em equilíbrio com o desenvolvimento econômico e a equidade social. O atual estágio de degradação ambiental torna cada vez mais urgente a necessidade de formar indivíduos autônomos, participativos e comprometidos com a sustentabilidade.

A motivação desta pesquisa surge, então, da expectativa de que a filosofia da QV possa ser introduzida em atitudes diárias, desde as consideradas mais simples, como separar o lixo reciclável do não reciclável, por exemplo, porém potencialmente capazes de contribuir, de médio a longo prazo, com o aumento da qualidade do ar, do solo e das águas, com a redução do consumo excessivo, do desperdício e do lixo, entre outros benefícios que o ato de assumir uma postura mais consciente possa gerar.

Assim, cabe questionar: **de que maneira a QV pode ser inserida na educação básica nacional? Com que profundidade o livro didático insere o pensamento sustentável no ensino disciplinar da Química?**

Reconhecendo a importância destes e de outros questionamentos, o presente trabalho se volta ao exame de um livro didático de Química para o Ensino Médio visando identificar as diferentes possibilidades de abordagens didáticas que podem ser construídas a partir deste ou com base neste, ao se introduzir conceitos verdes. Para tanto, a pesquisa se destina ao estudo da obra designada ao ensino da primeira série do Ensino Médio do Colégio Pedro II, aprovada pelo Programa Nacional do Livro Didático de 2018, a partir de uma análise geral de seus elementos (textos, boxes informativos, imagens, entre outros), da proposta de sequências metodológicas em QV e da avaliação do grau de verduza química dos experimentos – expressão de como um experimento ou processo atende aos princípios da QV (SANDRI; SANTIN FILHO, 2016) – considerando a preocupação com a segurança química, o descarte e o tratamento de resíduos, seguida da construção da métrica holística matriz verde.

Em outras palavras, o que se busca é proporcionar uma reflexão quanto à importância de incorporar a QV na educação básica de nível médio, a partir da inserção de temas diversos e contextualizados nos livros didáticos de Química, a fim de desenvolver e/ou amadurecer nos sujeitos o entendimento de que a manutenção dos recursos naturais e da vida é uma responsabilidade que deve ser compartilhada por todos.

Acreditando no potencial formativo da QV e na importância do livro didático dentro do contexto escolar, seja como subsídio ao trabalho docente ou como manual capaz de conferir acessibilidade e significado aos saberes próprios da Ciência – tendo ainda que considerar que este pode ser o único ou principal material disponibilizado a uma grande parcela da população –, espera-se que esta pesquisa possa difundir a discussão sobre a relevância de uma educação voltada à sustentabilidade e à inclusão de conceitos verdes no cotidiano dos alunos através do livro didático, de forma a informá-los e, sobretudo, incentivá-los a assumirem condutas mais respeitadas, quanto possível, tanto ao próximo como ao meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Examinar a obra “*Química I*” – 1ª edição, publicada pela editora Ática, em 2013, de autoria da professora Martha Reis, eleita para vigorar no Colégio Pedro II a partir de 2018 – quanto à inserção, caso existente, dos princípios e temáticas relativos à Química Verde, buscando conhecer sua estrutura e possibilidades de trabalho.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar a existência de temas relacionados a QV e, dentro das lacunas, apontar possíveis inserções de temas e conceitos específicos.
- Sugerir materiais que contemplem a conduta sustentável, a nível coletivo e individual, de modo complementar e pontual aos capítulos e/ou unidades do livro.
- Analisar os experimentos propostos com base nos pressupostos da QV e critérios de segurança química e tratamento de resíduos.
- Utilizar a métrica holística matriz verde para avaliar a verduza química dos experimentos propostos pelo livro didático.

3. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

3.1 Introdução à Química Verde

Neste tópico serão apresentados aspectos da QV relevantes para a discussão do trabalho, a saber: o contexto histórico da QV, sua definição e os doze princípios norteadores das práticas industriais, de ensino e pesquisa em química; conceitos que incentivam mudanças no comportamento humano a fim de reduzir os impactos sobre o meio ambiente; e caracterização da métrica matriz verde, que é destinada a avaliação da veracidade de reações químicas.

3.1.1 Breve contexto histórico

A adoção da QV como estratégia de prevenção à poluição decorrente do setor industrial é um fenômeno relativamente recente. A vertente encontrou espaço nos anos noventa, como resposta à pressão sofrida pela indústria acerca da necessidade de reduzir a toxicidade de seus processos e produtos, em geral (TUNDO *et al.*, 2000). Entre os antecedentes estão algumas manifestações públicas a favor da preservação da natureza e do consumo consciente de seus recursos das quais resultaram “estatutos” ambientais que serviram de incentivo, ainda que forçoso, à pesquisa e desenvolvimento de métodos químicos alternativos.

Esta preocupação com as consequências das ações humanas sobre o meio ambiente segue a ordem cronológica resumida abaixo, tendo em vista os eventos científicos que mais contribuíram com os debates em torno dos temas ecológicos (FARIAS; FÁVARO, 2011; ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 201-):

- 1949 – Conferência Científica da Organização das Nações Unidas, ONU, sobre a Conservação e Utilização de Recursos: primeiro indicativo de atenção à problemática ambiental.
- 1962 – Publicação do livro “Primavera Silenciosa”, de Rachel Carson: obra que fez um alerta sobre o uso indiscriminado de pesticidas químicos sintéticos, destacando a necessidade de proteger o meio ambiente e a saúde humana.
- 1968 – Conferência Intergovernamental de Especialistas sobre as Bases Científicas para Uso e Conservação Racionais dos Recursos da Biosfera (Conferência da Biosfera): evento científico que tratou da conservação e do uso racional (sustentável) da biosfera.
- 1968 – Clube de Roma: grupo de cientistas (atualmente uma organização não governamental com 100 membros efetivos) que se reuniram com o objetivo de analisar

o comportamento humano em um mundo de recursos naturais finitos. O primeiro relatório do grupo foi publicado em 1972; “Os Limites do Crescimento”, como foi chamado, salientou as implicações do crescimento exponencial desenfreado da população mundial (CHAVES, 2014).

- 1972 – Conferência de Estocolmo: primeiro grande evento mundial sobre o impacto humano na natureza, cuja declaração final contém vinte e seis princípios destinados à preservação e melhora do meio ambiente humano. Entre eles:

Princípio 2: Os recursos naturais da terra, incluindo o ar, a água, a terra, a fauna e a flora e, especialmente, amostras representativas de ecossistemas naturais, devem ser guardados para o benefício das gerações presentes e futuras, através de um cuidadoso planejamento ou ordenamento.

Princípio 3: Deve-se manter, e sempre que possível, restaurar ou melhorar a capacidade da terra em produzir recursos vitais renováveis.

Princípio 4: O homem tem a responsabilidade especial de zelar e administrar sabiamente o patrimônio vida selvagem e seu habitat, que são agora gravemente atacados por uma combinação de diversos fatores. Consequentemente, ao planificar o desenvolvimento econômico deve-se atribuir importância à conservação da natureza, incluindo a vida selvagem (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 1972, p. 4, tradução nossa).

- 1987 – Relatório de Brundtland: publicação do documento “Nosso Futuro Comum”, o qual insere a ideia de desenvolvimento sustentável no discurso público, concebendo-o como “[...] aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p. 46).
- 1992 – Rio-92 ou Eco-92 (Cúpula da Terra): conferência que resultou na adoção da “Agenda 21”, um programa de medidas a favor do desenvolvimento sustentável, entre estas: proteger a atmosfera, combater o desmatamento, prevenir a poluição da água e do ar e promover uma gestão segura dos resíduos tóxicos.
- 1997 – Protocolo de Kyoto – acordo internacional voltado para a redução das emissões de gases de efeito estufa.
- 2002 – Rio +10: avaliação dos progressos decorrentes da Rio-92 e dos desafios ainda existentes para transformar os compromissos da Agenda 21 em ações concretas e tangíveis, estabelecendo-se novas metas.
- 2012 – Rio +20: discussão de dois principais temas, a economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza e a estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável (desafio de construir um novo modelo de desenvolvimento que seja ambientalmente responsável, socialmente justo e economicamente viável) (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2012).

- 2015 – Cúpula de Desenvolvimento Sustentável: encontro onde os países da ONU definiram os novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a adoção da “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”.

Por certo, todos estes eventos contribuíram para a ascensão e consolidação da QV no cenário mundial. Todavia, como mencionado anteriormente, o conceito só surgiu na década de noventa com o projeto “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”, desenvolvido pela agência ambiental EPA (*Environmental Protection Agency*) como fomento de pesquisas voltadas à prevenção da poluição em suas sínteses químicas (LENARDÃO *et al.*, 2003).

Este momento foi sucedido por outros marcos importantes, como a criação de programas de premiação a inovações tecnológicas capazes de esverdear a cadeia produtiva de diferentes setores industriais; a fundação do Consórcio Universitário Química para o Ambiente (INCA – criado na Itália em 1993), que promove anualmente sua Escola Internacional de Verão em Química Verde (LENARDÃO *et al.*, 2003); e a realização de conferências internacionais de QV (a quarta e mais recente edição foi realizada em 2012) e encontros nacionais, assim como o da Escola Brasileira de Química Verde, cujo nono evento ocorreu em 2019.

Entre as publicações mais importantes encontra-se o livro “Química Verde: teoria e prática” de Paul T. Anastas e John C. Warner, de 1998, que se tornou uma grande referência entre os estudiosos da área. Segundo os autores, o termo QV pode ser definido como “[...] a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente” (ANASTAS; WARNER, 1998 apud CORRÊA; ZUIN, 2012, p. 9).

Uma análise do conceito feita por Tundo *et al.* (2000), sugere que a definição marca um afastamento significativo entre a maneira pela qual as questões ambientais foram consideradas pela indústria química e a perspectiva do desenvolvimento sustentável. Para os autores, a definição de QV compreende, intrinsecamente, a exigência de que os impactos de um produto ao ambiente sejam avaliados desde a sua concepção, isto é, façam parte da etapa de criação e design; a inclusão de todas as substâncias participantes do processo, reconhecendo as consequências do uso ou geração de compostos perigosos; a preocupação com a redução máxima dos riscos, os quais não se restringem a danos físicos e consideram possíveis ameaças ao ecossistema terrestre – aquecimento global, efeito estufa, bioacumulação, entre outras.

Para que a QV pudesse ser uma metodologia passível de implementação nas indústrias e, posteriormente, nas instituições de ensino e pesquisa em Química, foram estabelecidos doze princípios básicos cujo objetivo central é o desenvolvimento de tecnologias e reações químicas não poluentes, contribuindo para o restabelecimento da qualidade do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. Estes princípios seguem apresentados no próximo item do presente trabalho.

3.1.2 Os 12 princípios

Os grandes movimentos ambientalistas do último século demonstraram que a excessiva produção de resíduos e poluição por parte das fábricas representava grande perigo ao meio ambiente e à vida humana. A necessidade de dispor de estratégias capazes de esverdearem os processos industriais culminou na QV e em seus doze princípios – sintetizados por Anastas e Warner em seu livro “Química Verde: teoria e prática”.

Estes princípios se tornaram norteadores do desenvolvimento industrial sustentável, de modo que a maior proximidade de uma cadeia produtiva em atendê-los por completo – situação ideal e de máxima verdura química – só é possível a partir da adoção de processos químicos menos agressivos ao planeta (como um todo). Os princípios são descritos no Quadro 1 e analisados em seguida, tendo em vista os estudos de Castro e Verbel (2011), Lenardão *et al.* (2003), Machado (2011), Ramos (2009), Serrano (2009) e Prado (2003).

Quadro 1 – Os 12 princípios da Química Verde.

<ol style="list-style-type: none">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.5. Solventes e auxiliares mais seguros: O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes etc.) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, estas substâncias devem ser inócuas.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 fontes renováveis de matéria-prima: Sempre que técnica e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.
--

8. **Evitar a formação de derivados:** A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.
9. **Catálise:** Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.
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.
11. **Análise em tempo real para a prevenção da poluição:** Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.
12. **Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes:** As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

Fonte: LENARDÃO *et al.*, 2003, p. 124. Adaptado.

O primeiro princípio (P1) foi descrito com o objetivo de diminuir a quantidade de poluentes e resíduos (coproduto) gerados nas atividades industriais. No entanto, a prevenção da poluição subentende uma redução direta na fonte, isto é, uma produção essencialmente mais limpa, que priorize a formação de compostos inócuos ao ambiente. Isso implica em investir na reformulação das estratégias clássicas de controle de poluição – como os filtros de retenção de partículas poluentes ao final do processo de síntese (chaminé) – para que privilegiem os mais baixos níveis de formação de poluentes.

Prevenir a poluição gera impactos positivos ao ambiente e melhora a qualidade de vida das pessoas. A prática preventiva tanto reduz a emissão de compostos químicos associados as mudanças climáticas, ao aquecimento global e a outros problemas ambientais quanto diminui os gastos com adequação das plantas industriais para operações de reciclagem e tratamento de resíduos e a aplicação de dinheiro público em saneamento básico e serviços de saúde, por exemplo. Nisto, fica claro que é preferível e menos oneroso prevenir do que “remediar”.

O segundo princípio (P2) avalia a extensão da incorporação dos átomos dos reagentes no produto de interesse da reação, de modo que quanto maior for esta inclusão menor será a quantidade de resíduo formado. A economia de átomos (eficiência ou utilização atômica) é a razão entre a massa de produto desejado e a soma das massas de todas as substâncias produzidas na reação (produto e coprodutos), expressa em percentagem. Em geral, as instituições de ensino associam a eficiência ao cálculo de rendimento, em percentagem. Contudo, este valor representa apenas parte do processo, visto que considera apenas a relação entre o produto meta

da reação e o reagente limitante (rendimento teórico), desprezando os demais participantes do processo (resíduos, reagentes auxiliares, entre outros).

Outro conceito semelhante é o de fator E, empregado particularmente a nível industrial. O fator E é a razão entre a soma das massas de todos os resíduos produzidos e a massa do produto desejado, expressa em valor absoluto. Este conceito coloca em evidência a dimensão da problemática de geração de resíduos químicos. Sínteses com boa eficiência atômica são denominadas de sínteses verdes, enquanto a baixa economia de átomos resulta em sínteses marrons. Segundo Ortiz (2007), é necessário considerar a escala dos processos a serem avaliados: as atividades de uma refinaria de petróleo são mais prejudiciais ao meio ambiente do que as desempenhadas pela indústria farmacêutica, no entanto, esta última gera maior quantidade de resíduo, pois sua rotina, geralmente, envolve muitas etapas de baixo rendimento reacional e, por este motivo, possui maior fator E quando comparada a indústria do petróleo, por exemplo.

Os princípios três (P3) e quatro (P4) assumem perspectivas complementares, pois consideram a toxicidade das substâncias envolvidas na reação química (reagentes e produtos); ambos preconizam o desenvolvimento de metodologias (rotas sintéticas) com menor potencial agressivo ao homem e à natureza. Atualmente, vários produtos e processos vem sendo desenvolvidos com base nestes fundamentos, um exemplo é o inseticida CONFIRMTM que foi criado por uma multinacional norte-americana para o controle de lagartas nas lavouras. O produto é considerado de baixo risco por ser menos tóxico que outros inseticidas do mercado, não trazendo prejuízo significativo ao ambiente ou a outros organismos vivos.

Seguindo esta lógica de análise dos participantes do sistema reacional, o quinto item (P5) trata dos compostos auxiliares: solventes, agentes de separação, secantes, entre outros. Estes compostos são muito usuais nos procedimentos químicos e nem sempre apresentam possibilidade de reuso ou possuem tratamento adequado para o descarte, aumentando a quantidade de resíduos e poluindo o ambiente. Contudo, a crescente tomada de consciência tem favorecido o estudo e a gradativa substituição dos solventes orgânicos clássicos por solventes verdes – fluidos supercríticos (particularmente CO₂ a 31,1 °C e 73,8 atm), líquidos iônicos à temperatura ambiente, hidrocarbonetos perfluorados e água – ou, no melhor dos cenários, pela completa ausência dessas substâncias. Vale ressaltar que os solventes verdes não são necessariamente inócuos, apenas apresentam menor potencial de risco quando comparados aos convencionais.

O princípio seis (P6) diz respeito a quantidade de energia consumida durante um processo reacional. Este gasto energético pode ser fruto de sistemas com aquecimento prolongado ou resfriamento, refluxo, processos de separação de misturas, pressões específicas, entre outras possibilidades. Uma reação ideal deve ocorrer em condições ambientes de temperatura e pressão, dispensando a necessidade de suprimento externo de energia, em geral, proveniente da queima de combustíveis fósseis – uma fonte não renovável e que provoca o aumento da concentração de gases poluentes associados ao efeito estufa e a chuva ácida, por exemplo. As fontes renováveis de energia são alternativas para processos mais limpos e podem ser escolhidas em função das características do espaço e da necessidade energética envolvida nos procedimentos realizados, como microondas, ultrassons e células eletroquímicas e fotoquímicas.

Uma ideia similar pode ser observada no item sete (P7), o qual leva em consideração o uso de reagentes renováveis em oposição às matérias-primas à base de petróleo. Neste caso, o material mais apropriado seria a biomassa, que além de renovável pode dar origem aos biocombustíveis, como o etanol obtido através da cana-de-açúcar e o biodiesel que é produzido a partir de óleos vegetais. Este tipo de produto verde pode substituir combustíveis fósseis em motores a combustão ou outros tipos de geradores de energia, trazendo benefícios ao ambiente (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2018).

O oitavo princípio (P8) alerta para as derivatizações desnecessárias que aumentam a formação de subprodutos indesejáveis. Nesse sentido, a idealidade de uma reação química estaria associada, entre outros fatores, ao menor número de etapas – preferencialmente uma – e a ausência de reagentes adicionais, tornando o procedimento mais simples e menos lesivo ao ambiente.

O princípio nove (P9) resume os benefícios associados ao uso de catalisadores em sistemas reacionais. A catálise é um processo cíclico, de natureza cinética, que provoca o aumento da velocidade da reação química sem afetar a composição do estado de equilíbrio e ocorre com a regeneração do catalisador. Em geral, catalisadores heterogêneos resultam em reações mais verdes, pois apresentam maior seletividade e geram menos resíduos, além da possibilidade de serem reciclados e reutilizados. O emprego de catalisadores também viabiliza reações com condições energéticas mais brandas (reduzido o consumo energético), menor quantidade de substâncias residuais e excelente economia atômica, o que vai ao encontro dos princípios um, dois e seis.

O décimo item (P10) trabalha a perspectiva do desenho para a biocompatibilidade. Isso significa que a concepção de um produto deve avaliar as substâncias formadas após seu uso (função projetada) para que estas produzam impactos mínimos no ambiente. A adição de determinados grupos funcionais à estrutura química de um produto pode facilitar sua degradação, como grupos suscetíveis a hidrólise e a fotólise que estão sendo usados com sucesso. Para que uma embalagem plástica seja considerada biodegradável, por vias aeróbicas, por exemplo, é fundamental que todos os materiais do produto e seus constituintes tenham no mínimo 90% do carbono convertido a CO₂ no prazo máximo de seis meses, de acordo com a norma ABNT NBR 15448-2, em vigor desde 2008 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 apud SHIMOMOTO, 2016).

Como já mencionado, a QV persegue o desenvolvimento de produtos e processos não poluentes e não tóxicos (mais sustentáveis, em geral). Uma maneira eficiente de garantir o alcance desse objetivo é através da implementação do princípio onze (P11): técnicas analíticas de identificação e controle de substâncias nocivas antes de sua geração, em tempo real. O monitoramento da reação química depende de aparelhagens e metodologias precisas, que confirmam ao químico o domínio sobre as etapas do processo. Uma vez que se tenha controle do sistema, é possível prevenir a formação de produtos indesejados pelo ajuste dos parâmetros reacionais e, assim, reduzir ou eliminar a produção destas substâncias.

O último princípio (P12) traduz a preocupação da QV com a segurança química e prevenção de acidentes. A química intrinsecamente segura avalia toda a gama de perigos envolvidos numa síntese: riscos físicos, químicos e biológicos. A adoção de práticas seguras começa no respeito as normas e legislações que regulamentam o local de trabalho (laboratórios em geral), porém também envolvem a compreensão das etapas de um procedimento, o gerenciamento dos riscos, uma estrutura física e material condizente com o processo a ser realizado, entre outros pontos. Segundo Machado (2011, p. 536), “[...] a maior segurança inerente afasta os perigos proativamente, de forma permanente e inseparável do processo, em vez de os deixar existir e ter de lidar com eles reativamente”.

De modo geral, todos os princípios foram resultado de um longo processo de estudo, pesquisa e conscientização. A mudança gradual no modo como os resíduos (desprezados, a menos que pudessem ser reutilizados ou vendidos como subprodutos) eram vistos fez emergir as bases da QV para tornar a indústria química menos agressiva ao ambiente e mais sustentável em suas atividades.

Entretanto, é preciso reconhecer a existência de barreiras que dificultam o cumprimento dos doze princípios simultaneamente, que seria o melhor cenário possível, uma vez que diferentes indústrias empregam diferentes processos químicos e isto pode gerar uma série de variáveis a serem consideradas. O importante, neste caso, é compreender que quanto maior o número de princípios atendidos maior a proximidade com a situação ideal e que, não havendo empecilhos, estas adequações devem ser priorizadas visando processos fabris menos destrutivos e poluentes.

3.1.3 Conceitos verdes que incentivam práticas sustentáveis

Os doze princípios enunciam alguns passos a serem dados no sentido do desenvolvimento sustentável. No entanto, não são as únicas contribuições da QV à causa. Existem diversas formas de se empregar o pensamento verde e incentivar ações coletivas que sejam, ao mesmo tempo, conscientes tanto em relação aos impactos dos hábitos de consumo humano à natureza quanto favoráveis à preservação de seus recursos.

Entre as diferentes possibilidades de adoção da QV – além da aplicação direta de seus princípios no setor industrial, a qual sua origem reporta –, têm-se, por exemplo: família das pegadas, economia circular, erros da sustentabilidade, análise do ciclo de vida e sequestro geológico de carbono. Estes conceitos estão voltados ao emprego de atitudes sustentáveis que podem ser adotadas nos processos fabris e, em alguns casos, no cotidiano de cidadãos comuns, de forma gradual. Ainda que alguma prática não esteja ao alcance direto do sujeito, conhecê-la pode provocar mudanças positivas em seus hábitos de consumo, o que ressalta a importância da difusão de ideias verdes.

a) Família de pegadas

A Família de Pegadas é um conjunto de três indicadores destinados a medir múltiplos aspectos dos impactos da ação humana sobre o meio ambiente, sendo formada pelas pegadas ecológica, hídrica e de carbono.

Segundo a WWF-Brasil (2012), a pegada ecológica (PE) foi criada para ser uma metodologia de avaliação da pressão do consumo humano sobre os recursos naturais, ou seja, para medir o quanto destes recursos precisam ser investidos para sustentar o estilo de vida das populações e se estes padrões são compatíveis com a biocapacidade do planeta (capacidade da natureza em produzir recursos úteis e absorver os resíduos gerados pelas atividades humanas).

Por outro lado, a pegada hídrica (PH) mede os efeitos das ações humanas sobre a hidrosfera, monitorando os recursos hídricos em termos de consumo direto e indireto de água doce e de poluição. A PH pode ser medida para um processo, produto, empresa, país ou região, ajudando a compreender a finalidade dada aos recursos hídricos, bem como as consequências de seu uso desmedido e ações que possam intervir positivamente na correção de problemas (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A PH existe em três formatos: verde, azul e cinza. A primeira forma corresponde à água das chuvas armazenada no solo ou incorporada pelas plantas (particularmente relevante para produtos agrícolas, hortícolas e florestais); a segunda, calcula o volume de águas superficiais ou subterrâneas (rios, lagos e lençóis freáticos) que é consumido sem retornar à fonte original de captação (tipo de pegada aplicável a produção agrícola ou industrial e ao uso doméstico); e a última, mede o volume de água necessário para assimilar o efluente devolvido ao meio ambiente a fim de atender aos padrões de qualidade estabelecidos (HOEKSTRA *et al.*, 2011; WWF-BRASIL, 2012).

Por sua vez, a pegada de carbono (PC) é uma medida das emissões de gases de efeito estufa (GEE) causada direta ou indiretamente por uma pessoa, atividade, organização, evento ou produto. Entre os exemplos de emissão de GEE, têm-se: queima de combustíveis fósseis, processos industriais, decomposição do lixo, criação de gado, desmatamento e queimadas. Em outras palavras, a PC pode calcular os impactos da humanidade sobre a biosfera e quantificar seus efeitos sobre o clima, e representa mais da metade da pegada ecológica total da humanidade, sendo a principal causa das mudanças climáticas (WWF-Brasil, 2012).

De modo geral, através da família das pegadas é possível fazer uma leitura da realidade social, a qual revela diferentes níveis de desigualdade, mas também oportuniza a tomada de consciência e o direcionamento de novas atitudes de consumo e distribuição dos recursos naturais. Desta forma, os segmentos da sociedade podem mensurar sua contribuição para a degradação ambiental e refletir sobre as medidas de manutenção sustentável do ambiente.

b) Economia circular

O modelo produtivo atual é fundamentado na prática de extrair, produzir, consumir e descartar. Este sistema, conhecido como economia linear, pressupõe uma realidade utópica de recursos naturais infinitos, em contraste ao risco iminente de esgotamento de matérias-primas. Além disso, o modelo linear gera grandes quantidades de resíduos, por vezes, danosos ao ambiente e à saúde humana (LEITÃO, 2015).

Em contrapartida, a ideia de economia circular (EC) é construída com base na eficiência de recursos e minimização ou não produção de resíduos. Segundo Berardi e Dias (2018, p. 37), “[...] o foco da EC está em utilizar o bem, no seu maior tempo possível, pela sua maior capacidade instalada”, isto é, estender seu ciclo de vida útil – reutilização, reparação, renovação e reciclagem – e de seus componentes em sua maior utilidade e valor. A Figura 1 resume as etapas envolvidas na EC.

Figura 1 – As fases da economia circular.



Fonte: LAZZAROTTO, 2018.

A EC assume que materiais propícios ao descarte possam ser mantidos na cadeia produtiva através de um fluxo cíclico contínuo. Desta forma, o que antes era considerado resíduo se torna matéria-prima em outro processo, podendo ser colocado na cadeia produtiva da empresa de origem ou em terceira, o que reduz a demanda por matéria-prima, energia e água (BERARDI; DIAS, 2018; LEITÃO, 2015).

A transição do modelo linear para o circular é acompanhada por uma série de benefícios: redução dos custos, em virtude do melhor aproveitamento dos materiais e da redução dos desperdícios; maior geração de valor; maior resiliência e colaboração; geração de novos empregos e renda; conformidade legal e normativa, em respeito a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), por exemplo; redução da obsolescência; redução das emissões de poluentes e da dependência dos recursos naturais, entre outros (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2018).

c) Erres da sustentabilidade

Os atuais padrões de consumo e produção ameaçam a vida no planeta, pois junto a excessiva exploração dos recursos naturais e o desperdício surgem imensas quantidades de lixo e poluentes. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), no Brasil, cada habitante gera em média 1,1 kg de resíduos por dia (BRASIL, 2013).

Este dado revela a urgência em se estimular o consumo consciente, traduzido na compreensão dos possíveis impactos que um produto ou serviço pode acarretar ao ambiente, à economia e à sociedade (a curto, médio ou longo prazo). Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis é o décimo segundo objetivo (de 17 totais e 169 metas) da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável e prevê, entre outros pontos, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais, além de reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso, até o ano em questão (BRASIL, 2016b).

Este mesmo conceito de reduzir, reutilizar e reciclar foi apresentado na Agenda 21, ficando conhecido como Princípio dos 3R's. Atualmente, a abordagem tem sido direcionada a um conjunto de ações mais abrangentes, incluindo outros erres, como: repensar (ou refletir), recusar, reparar (recuperar ou renovar), respeitar, reintegrar, responsabilizar-se e repassar (ou revolucionar). Dependendo da fonte de estudo, o princípio pode considerar, três (BRASIL, 2013), quatro, cinco, sete (MATIAS, 2019) ou mesmo oito erres (AKATU, 2011), por exemplo, variando entre as possibilidades. Juntando todos os erres, o grupo passa a um total de 10R's:

- Repensar: Procurar refletir sobre os hábitos de consumo e seus impactos no planeta. Evitar o consumo excessivo e aprender a adquirir apenas o que é realmente necessário. Agir com maior responsabilidade ambiental.
- Recusar: Se opor a produtos, serviços e empresas que causem prejuízos a natureza ou a sociedade (descumprimento da legislação ambiental e trabalho infantil ou escravo, por exemplo).
- Reduzir: Controlar o impulso do consumo e reduzir o desperdício (de alimentos, produtos, serviços, água e luz) e a quantidade de lixo (resíduos).
- Reutilizar: Reaproveitar um produto após o término de sua função, seja para cumprir com o mesmo objetivo ou para usá-lo de outra maneira.
- Reparar: Consertar o que foi danificado ao invés de fazer uma nova aquisição.

- **Reciclar:** Retornar à cadeia produtiva materiais (sem possibilidade de reuso ou reparo) que podem ser empregados como matéria-prima em processos diversos (papel, plástico, metal e vidro). Separar o lixo comum do reciclável e destiná-los corretamente.
- **Reintegrar:** Retornar o lixo orgânico à natureza através da compostagem. Fazer com que cascas de frutas, verduras, podas de árvores e restos de alimentos se transformem em nutriente para o solo.
- **Respeitar:** Ser respeitoso consigo mesmo, com as pessoas ao redor, o trabalho ou estudo, o meio ambiente e todas as suas formas de vida.
- **Responsabilizar-se:** Assumir as consequências de cada escolha e a responsabilidade pelos impactos que elas causam, sejam bons ou ruins.
- **Repassar:** Disseminar informações e conhecimentos que contribuam à adoção de práticas sustentáveis a nível coletivo.

Visto que o caminho para o desenvolvimento sustentável também envolve a garantia de padrões de produção mais limpa, os erres também podem ser inseridos dentro do ciclo de vida de um produto (da extração ao descarte), com o objetivo de poupar os recursos naturais e gerar menos resíduos no decorrer do seu processo de fabricação. Neste contexto, são aplicáveis 6R's (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2014, 2016):

- **Repensar:** Criar ou melhorar um produto para que ele se torne mais eficiente (menor gasto energético, maior aplicabilidade e durabilidade, entre outros).
- **Repor:** Substituir substâncias tóxicas por outras que impactem menos a saúde humana e o meio ambiente (substâncias mais seguras).
- **Reparar:** Planejar um produto que possa ter suas partes ou peças trocadas em caso de dano (quebra ou perda de algum componente, por exemplo).
- **Reduzir:** Diminuir o consumo de matéria-prima, de energia, de água, de gastos com o transporte e a emissão de poluentes.
- **Reutilizar:** Reaproveitar produtos inteiros ou suas partes para evitar o descarte.
- **Reciclar:** Transformar produtos que foram descartados em matéria-prima na produção de novos produtos com outra utilidade.

As similaridades entre as listas de erres expressam a importância do processo coletivo de tomada de consciência quanto aos riscos que o atual modelo de produção e os hábitos de consumo podem infligir sobre a Terra, expressando a reponsabilidade das empresas, indústrias, governos e sociedade civil com a preservação da natureza e do bem-estar humano.

d) Análise do ciclo de vida

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia essencialmente quantitativa e avalia os impactos ambientais que podem ser causados ao longo da vida de um produto ou serviço, contemplando o conjunto de etapas envolvidos neste ciclo, desde a extração da matéria-prima, passando pela manufatura, distribuição, uso, reuso, reciclagem e descarte final. A partir das informações geradas pela ACV é possível identificar oportunidades de melhorias, aumento de eficiência e redução de impactos dentro da cadeia de valor (dos fornecedores até o cliente), desenvolver produtos sustentáveis (ecodesign), criar rótulos ambientais e comparar o desempenho ambiental de sistemas distintos que executam a mesma função (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2014, 2016).

No que diz respeito aos agravos ambientais, os resultados de uma ACV podem refletir diferentes categorias de impacto: aumento da emissão de GEE; aumento da temperatura global, que leva a mudanças no clima; acidificação do solo, água e ar; aumento dos agentes tóxicos ao ambiente ou à saúde humana; esgotamento de recursos naturais não renováveis, entre outros.

A série de normas NBR ISO 14040 estrutura os estudos de ACV em quatro fases: 1 – definição dos objetivos e escopo, que determina a abrangência, o público-alvo dos resultados e os limites da aplicação da técnica; 2 – análise de inventários, que coleta os dados de fluxos de massa e energia durante o ciclo de vida; 3 – avaliação dos impactos, que corresponde a identificação e avaliação dos potenciais impactos ao meio ambiente; 4 – interpretação, que visa analisar as consequências do estudo e definir as conclusões, limitações e recomendações sobre questões ambientais significativas (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2014).

A metodologia é uma estratégia que pode ser utilizada para apoiar políticas de sustentabilidade. Os estudos de ACV desenvolvidos para avaliar a proibição de sacolas plásticas descartáveis e o uso de fraldas de pano ao invés das fraldas descartáveis são dois exemplos de uma análise com potencial para ser difundida entre a população e incentivar a tomada de consciência da carga ambiental que os hábitos de produção e consumo depositam no ambiente. No primeiro caso, foi concluído que as sacolas plásticas duráveis produziam maior impacto energético e hídrico com menor eficiência na reciclagem quando comparadas as descartáveis, enquanto o segundo indicou que a escolha pelo tipo de fralda dependeria das condições ambientais locais e do comportamento do consumidor, pois ambas produziriam danos ao ambiente (BRASKEM, 2019b).

e) Sequestro geológico de carbono

A mitigação das mudanças climáticas depende da capacidade global em reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Entre os GEE, o que desperta maior preocupação é o gás carbônico (CO_2), produzido por uma gama de atividades humanas, a exemplo da queima de combustíveis fósseis (grande dependência na matriz energética mundial), queimadas, desmatamentos e produção industrial de cimento, ferro gusa e aço.

A presença de grandes quantidades de CO_2 na atmosfera intensifica o efeito estufa e aquecimento global e, por este motivo, a redução de suas emissões e a maximização das medidas para removê-lo fazem parte do conjunto de ações a favor do desenvolvimento sustentável. Este último processo é denominado sequestro de carbono e envolve a captura e o armazenamento de CO_2 atmosférico de forma natural – como ocorre nas vegetações e oceanos, através da fotossíntese em biomassa de plantas e algas ou pela dissolução do gás em água – ou por meio de tecnologias capazes de retirarem o gás da atmosfera e depositá-lo no subsolo (sequestro geológico de carbono), no oceano ou em carbonatos inorgânicos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2005).

O sequestro geológico de carbono (ou captura e armazenamento geológico de CO_2 - Carbon Capture and Geological Storage, CCGS, em inglês) consiste em capturar, transportar e armazenar o gás em formações geológicas, mantendo-o permanentemente isolado da atmosfera terrestre. O CO_2 pode ser capturado de processos industriais, de produção e consumo de energia ou diretamente do ar atmosférico, transportado por meio de dutos, navios, ferroviários ou rodovias e armazenado em jazidas de petróleo e gás com declínio de produção, formações salinas (aquíferos profundos e cavernas) ou camadas de carvão mineral (COSTA, 2018; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2005).

Existem três principais sistemas de separação de CO_2 : pós-combustão, pré-combustão e combustão de oxi-combustível. De maneira geral, a captura pós-combustão separa o CO_2 da mistura de gases de combustão produzidos na queima de um combustível primário (carvão, gás natural, óleo ou biomassa) no ar; a pré-combustão envolve a conversão do combustível primário em CO_2 e gás hidrogênio (H_2); e o sistema de oxi-combustível usa oxigênio em vez de ar para a combustão, produzindo, principalmente, CO_2 e água (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2005).

O CCGS é uma estratégia promissora no que tange a mitigação das mudanças climáticas e a redução das emissões de GEE, pois é capaz de absorver grande quantidade de carbono do ambiente, além de envolver tecnologias já existentes, uma vez que apresenta similaridade com procedimentos desenvolvidos pela indústria de petróleo e gás – operações de recuperação avançada de óleo injetam CO₂ em reservatórios de petróleo para aumentar a quantidade de óleo recuperada de um poço, por exemplo (RAVAGNANI; SUSLICK, 2008). Todavia, a implementação de tecnologias de sequestro geológico de CO₂ precisa considerar os riscos operacionais (vazamentos, variação da pressão do gás, entre outros), a viabilidade econômica e a existência de regulamentação e políticas públicas neste sentido, a fim de garantir que processo seja seguro e ambientalmente aceitável (COSTA, 2018).

3.1.4 Métricas de verdura química – Matriz verde

De maneira geral, métricas são grandezas que analisam a extensão com que um processo ou síntese se aproxima (ou afasta) do cumprimento dos princípios da QV. Existem diferentes tipos de métricas: métricas de massa (relativas ao P1 e P2), de energia (P6), ambientais (compreendem vários princípios), de segurança (P12) e holísticas (todos os doze princípios), sendo as métricas holísticas as mais adequadas para a inserção da QV no ensino, pois, além de compreender todos os princípios, apresentam maior simplicidade na avaliação de experimentos quanto ao grau de verdura química (RIBEIRO; MACHADO, 2012, 2013). São classificadas como métricas holísticas, em ordem crescente de complexidade: Quadro Verde, Círculo Verde, Estrela Verde e Matriz Verde (SANDRI; SANTIN FILHO, 2016).

Todas estas metodologias favorecem a visualização dos aspectos que podem ser melhorados em um processo ou síntese para que se alcance maior verdura química. A partir dos resultados de uma análise é possível propor alterações nas condições reacionais buscando o esverdeamento do procedimento, de modo que, ao final, em outra avaliação, ele passe a atender maior número de princípios. Apesar da relevância de cada uma destas métricas, o objetivo desta pesquisa leva em consideração unicamente a matriz verde.

A matriz verde (MV) é uma métrica holística para a avaliação da verdura de um procedimento químico. O método utiliza uma análise SWOT: análise qualitativa baseada em variáveis internas e externas – pontos fortes e fracos, oportunidades e ameaças, respectivamente. Os pontos fortes correspondem aos aspectos positivos que permitem que os princípios da QV sejam cumpridos, enquanto os fracos representam o oposto; as oportunidades

indicam os aspectos que podem ser melhorados e as ameaças reúnem os obstáculos que dificultam o alcance dos objetivos (RIBEIRO; MACHADO, 2012, 2013).

Os resultados da análise SWOT são apresentados em quadros semelhantes ao ilustrado abaixo (Quadro 2), a partir dos quais é possível refletir como atuar sobre os pontos fortes e explorar as oportunidades a fim de eliminar ou reduzir os pontos fracos e as ameaças identificadas, buscando um processo ou síntese mais verde.

Quadro 2 – Esquema ilustrativo de uma análise SWOT.

Pontos fortes	Pontos fracos
Oportunidades	Ameaças

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Para que a análise SWOT possa fornecer dados que contribuam para a revisão e otimização do protocolo em estudo, a MV emprega apenas os princípios da QV que são aplicáveis ao procedimento, em função da presença ou ausência de reações de síntese: dos doze, P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P10 e P12 são relevantes em contextos de síntese e P1, P5, P6, P7, P10 e P12 podem ser considerados quando o trabalho não as envolve. No ensino de química, não são aplicados os princípios P4 e P11, uma vez que não se costuma realizar o desenho de novos produtos (RIBEIRO; MACHADO, 2012, 2013).

3.2 Introdução à análise de livro didático

Este tópico se destina à apresentação das diretrizes educacionais que orientam a elaboração de livros didáticos de química destinados ao Ensino Médio e às potencialidades da filosofia da QV, quando inserida neste material, bem como dos aspectos referentes ao método de pesquisa qualitativa denominado análise de conteúdo.

3.2.1 Livro didático de Química do Ensino Médio

Historicamente, o livro didático (LD) tem sido o recurso pedagógico mais utilizado nas escolas, possuindo uma amplitude de significados: domínio de saberes escolares e transcrição do que se deve ensinar ao longo das etapas da escolarização (MUNAKATA, 2016); síntese da

produção científica transposta e adequada aos alunos, tendo em vista valores psicopedagógicos (SANTOS, 2006); “[...] veículo portador de um sistema de valores, de uma ideologia, de uma cultura” (BITTENCOURT, 1993, p. 3); aporte ao trabalho docente e ao estreitamento da relação entre o aluno e a disciplina (CARNEIRO; SANTOS; MÓL, 2005), entre outros.

Apesar da variedade de definições, é de entendimento comum que o LD é uma ferramenta que ocupa um lugar privilegiado na cultura escolar e de grande valia no processo de ensino-aprendizagem por se dirigir, simultaneamente, ao professor e ao estudante. Segundo Bittencourt (1993, p.3), nas últimas décadas o LD vem se destacando como objeto de pesquisas divergentes, sendo “[...] alvo de críticas contundentes ou de estudos que proclamam sua existência como fundamental no processo de ensino das escolas”. Entre as críticas residem ideias diversas, como as de que o livro nem sempre chega a todas as escolas do país e de que este pode ser substituído por outros materiais fornecidos pelo professor e demais colaboradores,

O posicionamento assumido nesta pesquisa concorda com Santos (2006), o qual destaca a importância do material, que pode ser, por vezes, o único recurso didático ao qual alunos e professores possuem acesso, e reflete acerca da necessidade de se elaborar e, sobretudo, escolher o LD de forma consciente e responsável, o que deve ser feito com base não apenas no conteúdo conceitual de uma disciplina, mas também nos valores formativos que deem significado à aprendizagem.

No Brasil, a escolha do LD tem sido realizada através do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), que “[...] é o mais antigo dos programas voltados à distribuição de obras didáticas aos estudantes da rede pública de ensino brasileira e iniciou-se, com outra denominação [Instituto Nacional do Livro], em 1937” (BRASIL, 201?). Esta escolha é auxiliada pelo Guia de Livros Didáticos, que reúne as informações gerais e específicas sobre os livros aprovados pelo programa, por meio de resenhas que apresentam as características pedagógicas de cada unidade, seus pontos fortes e suas limitações, de acordo com os componentes curriculares de um segmento escolar e com os critérios estabelecidos no edital de convocação para o processo de inscrição e avaliação de obras didáticas. No PNLD 2018 (Edital 04/2015), os componentes do Ensino Médio corresponderam a: Arte, Biologia, Filosofia, Física, Geografia, História, Línguas Estrangeiras Modernas (Espanhol e Inglês), Língua Portuguesa, Matemática, Química e Sociologia (BRASIL, 2017b).

De acordo com o programa,

Para alcançar as finalidades propostas para o Ensino Médio no Brasil contemporâneo [contemplar o trabalho, a ciência, a tecnologia e a cultura], as obras didáticas [do Ensino Médio] devem veicular informações corretas, precisas, adequadas e atualizadas, contribuindo para o exercício do trabalho docente, no sentido de propiciar, aos estudantes, oportunidades de desenvolver ativamente as habilidades envolvidas no processo de aprendizagem. [...] Como parte integrante de suas propostas pedagógicas, as obras didáticas devem contribuir, efetivamente, para a construção de conceitos, posturas frente ao mundo e à realidade, favorecendo, em todos os sentidos, a compreensão de processos sociais, científicos, culturais e ambientais. [...] Portanto, espera-se que o livro didático viabilize o acesso de professores, alunos e famílias a informações, conceitos, saberes, práticas, valores e possibilidades de compreender, transformar e ampliar o modo de ver e fazer a ciência, a sociedade, a educação e a cultura (BRASIL, 2017b, p. 9).

Para tanto, o livro didático deve estar de acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – DCNEM (Resolução CNE/CEB 3/2018), as quais definem que a formação geral básica deve estar atrelada a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) – referência nacional obrigatória à elaboração dos currículos das redes de ensino do país, públicas ou privadas, que entrou em vigor no primeiro ano letivo subsequente à data da publicação e com início do processo de implementação definido a partir do segundo ano letivo (BRASIL, 2018a, 2018b).

Em meio à tais perspectivas, os atuais livros didáticos de Química (LDQ) devem compreender a ciência como construção humana inserida em um contexto histórico, cultural, ideológico e ético (SANTOS, 2006), em contínua mudança, capaz de extrair da natureza os subsídios necessários para produzir tecnologia, artefatos e processos ligados a diferentes campos da sociedade. Nesse sentido, o LDQ exibe a função de fundamentação do conhecimento científico sob uma visão crítica da realidade (mundo material), bem como da articulação entre o empírico, o teórico e a linguagem, sem se abster das relações sociais que o permeiam (BRASIL, 2017a).

No âmbito do PNLN, a abordagem do LDQ deve privilegiar os aspectos teóricos e conceituais da Química através de enfoques como: contextualização, interdisciplinaridade, história da ciência, experimentação investigativa e relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (área de estudo conhecida pela sigla CTSA). Ao incorporar estas características ao material e ao discurso do professor, envolvendo situações-problema ligadas ao cotidiano, é possível favorecer o envolvimento do estudante com a disciplina e despertar (e/ou melhorar) nele “[...] a capacidade de tomada de decisões, de intervenção no cotidiano, bem como de crítica e análise do próprio contexto” (BRASIL, 2017a, p. 11).

Estes aspectos correspondem aos pressupostos estabelecidos nos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio (PCNEM) quanto ao sentido do aprendizado na área de Química e ao conjunto de competências (conceitos e procedimentos) e habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais) que se espera promover com o ensino da componente curricular (BRASIL, 2000) e das Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Química, Física e Biologia), de modo geral (BRASIL, 2018a). Para este último campo, a BNCC descreve três competências específicas:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global. 2. Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis. 3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BRASIL, 2018a, p. 539).

Apesar das especificidades de cada competência, todas sugerem habilidades relacionadas à conscientização e participação ativa do indivíduo no que diz respeito às problemáticas ambientais e as ações que podem ser desenvolvidas no sentido de preservação dos ecossistemas. Frente a estas perspectivas, se ressalta o potencial formativo da QV, quando inserida no livro didático e no ambiente escolar, em favor do desenvolvimento de atitudes responsáveis e, sobretudo, sustentáveis por parte de estudantes, professores e familiares, além de outros sujeitos que possam ser alcançados através de sua inserção no Ensino Médio.

3.2.2 O ensino de Química Verde e o livro didático de Química

O surgimento da Química Verde foi descrito, anteriormente, como um marco na percepção da relação entre os processos fabris e os problemas ambientais, refletindo o papel dos diferentes coletivos sociais na incorporação de práticas sustentáveis, em benefício da saúde humana e do meio ambiente. Zuin *et al.* (2015) afirmam que a vertente é uma resposta auspiciosa aos problemas socioambientais que se originam, e intensificam, em função do modelo de produção e consumo de bens e serviços que decorre da exploração irrefletida dos recursos naturais. Segundo os autores, este modelo tem naturalizado o uso de substâncias nocivas ao homem, aos animais e ao ecossistema terrestre, o que, por sua vez, contribui para o

aumento dos diferentes tipos de poluição (atmosférica, hídrica, eletromagnética etc.) em virtude do despejo inapropriado de materiais tóxicos e não degradáveis no ambiente (solo, água e ar).

No entanto, embora sua origem reporte à indústria, a QV pode ser estendida à educação básica, tal como já vem ocorrendo nas instituições de Ensino Superior, para alcançar maior número da população. Para Zuin *et al.* (2015), a QV é potencialmente capaz de promover a formação de indivíduos mais críticos, questionadores da realidade que envolve o espaço geográfico em que vivem e apreciadores de tecnologias mais verdes, o que favorece, segundo Souza, Silva e Costa (2019), um ensino interdisciplinar e contextualizado da Ciência Moderna.

Em 2005, a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) deu início a Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (2005-2014), com a finalidade de evidenciar a educação como parte indissociável na busca comum pelo desenvolvimento sustentável e integrar os valores inerentes a este processo em todos os aspectos da aprendizagem por meio de uma reorientação das abordagens educacionais (currículo e conteúdo, pedagogia e avaliações) e da implementação de políticas capazes de inspirar novos valores e atitudes, promovendo o respeito a natureza e as gerações presentes e futuras (UNESCO, 2005).

Apesar da década ter passado, a sustentabilidade segue sendo um objetivo a ser alcançado, em perspectiva mundial. No campo da educação brasileira, é prevista nas Diretrizes Curriculares Nacionais e na Base Nacional Comum Curricular como parte das competências específicas e habilidades a serem desenvolvidas na educação básica a partir dos conhecimentos das diferentes áreas.

Na competência que expressa a “análise dos fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia”, os fenômenos naturais e os processos tecnológicos são analisados sob a perspectiva das relações entre matéria e energia, possibilitando, por exemplo, a avaliação de potencialidades, limites e riscos do uso de diferentes materiais e/ou tecnologias para tomar decisões responsáveis e consistentes diante dos diversos desafios contemporâneos, tal como preconiza o princípio 01 da QV, relacionado à prevenção (SOUZA; SILVA; COSTA, 2020, p. 599).

A premissa de uma educação para o desenvolvimento sustentável corrobora o pensamento de Zuin *et al.* (2015) quanto a relevância da QV no cotidiano escolar. Segundo os autores, quando fundamentado nos referenciais da QV e da educação ambiental, o ensino de Química “[...] pode oportunizar a construção de conhecimentos científicos com potencial transformador de valores e atitudes” (ZUIN *et al.*, 2015, p.82).

Frente a isto, compreende-se neste trabalho que a introdução da QV no livro didático de Química implica em criar condições para que a leitura e o uso do material articule a filosofia da QV a uma perspectiva crítica/emancipatória quanto à produção científica-tecnológica (ZUIN *et al.*, 2015), seja a partir da contextualização de seus princípios e/ou da inclusão de ideias e conceitos verdes que ressaltem a importância de uma mentalidade voltada à sustentabilidade, a nível coletivo e individual, não limitada à pós-produção, mas necessária desde a concepção de um produto ou serviço, haja vista os contextos de interesse envolvidos em seus projetos (SANTOS; AULER, 2019).

3.2.3 Breve explicação acerca da análise de conteúdo

A metodologia de análise de conteúdo surgiu nos Estados Unidos, durante a Segunda Guerra Mundial, com o objetivo de sintetizar e compreender o teor dos argumentos inimigos que eram vinculados por jornais e propagandas da época e, somente após o período, passou a ser aplicada em uma gama de estudos acadêmicos desenvolvidos por pesquisadores de diversas áreas de conhecimento humano – jornalistas, sociólogos, psicólogos, educadores, entre outros (CARLOMAGNO; ROCHA, 2016).

Entre as possíveis abordagens para o tema, este trabalho descreve a proposta realizada pela professora Laurence Bardin, em sua obra “*L’analyse de contenu*”, publicada em 1977. Para Bardin (1977), a análise de conteúdo é um conjunto de técnicas que pode manipular todas as formas de comunicação (conteúdo e expressão desse conteúdo), colocando em evidência os indicadores que permitem inferir sobre os aspectos de construção e recepção de uma mensagem. Isso significa dizer, de forma mais simplista, que a análise busca compreender o conteúdo para além de seus significados imediatos.

Uma análise de conteúdo envolve três etapas: 1 – pré-análise; 2 – exploração do material; 3 – tratamento dos resultados, inferência e interpretação. A pré-análise consiste em uma fase de organização (flexível, porém precisa), na qual é feita a escolha dos documentos a serem investigados, a formulação das hipóteses e dos objetivos, a elaboração dos indicadores que irão orientar a interpretação dos dados e a preparação do material (padronização e equivalência). Segundo Bardin (1977), esta etapa se inicia com uma “leitura flutuante”, onde o pesquisador estabelece um contato prévio com os textos (ou elementos audiovisuais) para deles extrair as primeiras impressões e orientações, buscando sintetizar suas ideias e se familiarizar com o material.

Por sua vez, a exploração do material é a etapa de efetivação dos pontos estabelecidos na pré-análise. Esta é a fase que requer maior disposição de tempo, uma vez que é preciso administrar e aplicar o programa definido previamente, como testar as hipóteses, cumprir com os objetivos e fundamentar as ideias com base no referencial teórico escolhido (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011). Bardin (1977), afirma que na segunda fase o analista deve, ainda, reunir grupos de elementos em razão de características comuns (categorização) e fazer a codificação do material para atingir uma representação de seu conteúdo e sua expressão, de modo a identificar as unidades de registro (como um tema) e de contexto (verdadeiro sentido expresso pela presença ou ausência de um tema, por exemplo).

A terceira fase corresponde ao tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Esta etapa se destina ao confronto dos dados brutos que foram coletados ao longo do processo de análise com os referenciais teóricos e a metodologia empregada; “[...] é o momento da intuição, da análise reflexiva e crítica” (MOZZATO; GRZYBOVSKI, 2011, p. 735). No entanto, para inferir conhecimentos relativos a um conteúdo, é preciso ir além do que pode ser compreendido imediatamente e buscar o que está implícito na comunicação, para, a partir da inferência, chegar às interpretações que estabeleçam, em profundidade, as razões e significados escondidos sob a aparente realidade. Neste método, o analista pode fazer uso de diferentes operações, conforme as especificidades da pesquisa e de sua natureza (qualitativa ou quantitativa), a fim de enriquecer, validar e fundamentar seu trabalho (BARDIN, 1977; CÂMARA, 2013).

4. PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa se trata de uma análise qualitativa descritiva do livro didático “Química I” – 1º edição, publicada pela editora Ática, em 2013, de autoria da professora Martha Reis – que tão logo aprovado pelo PNL 2018, foi selecionado para atender ao público do 1º ano do Ensino Médio Regular do Colégio Pedro II. Inicialmente, o trabalho tem como base a análise de conteúdo fundamentada em Bardin (1977), de domínio linguístico escrito destinado a comunicação em massa, cujo procedimento sistemático foi adaptado em função das particularidades da pesquisa.

A pré-análise consiste na organização desta metodologia como resultado da seleção do documento em estudo e das principais referências teóricas, da definição dos objetivos e da preparação do material. A pesquisa tem em vista a estrutura organizacional da obra e abrange, entre outros possíveis textos, todos os boxes e seções encontrados no volume, conforme sucintamente descritos abaixo (FONSECA, 2013):

- **Abertura da unidade:** breve exposição do tema ambiental a ser tratado nos capítulos pertencentes a unidade.
- **“Saiu na mídia!”:** texto jornalístico presente no início do capítulo e que estabelece relação com o tema da unidade em estudo.
- **Cotidiano químico:** procedimentos laboratoriais realizados com aparelhagens específicas.
- **Curiosidade:** informações extras para aprofundar a discussão de um assunto.
- **“De onde vem...para onde vai?”:** descrição do processo de obtenção de produtos economicamente importantes cujo final é uma sugestão de trabalho em equipe.
- **Compreendendo o mundo:** texto que conclui o tema ambiental debatido em uma unidade e estabelece sua relação com a seguinte.
- **Questões e exercícios de revisão:** exercícios sobre os conteúdos do capítulo.

Na etapa de exploração do material, a avaliação procura identificar de que forma e com que profundidade a QV está presente no livro didático, considerando, para tanto, as diferentes possibilidades de se construir uma abordagem didática. Esta é, portanto, uma etapa de análise geral e propostas de sequências metodológicas em QV, a qual se destina a identificação dos elementos que sugeriram a inserção da QV no material didático, seja na forma de imagens ou apresentações textuais, seguida de sugestões de abordagens que possam ser trabalhadas com enfoque verde e que incentivem práticas sustentáveis (propostas de materiais complementares

que contemplem os diferentes campos de ação da QV). Para tanto, foram elaboradas três categorias de análise visando estabelecer as características comuns a diferentes narrativas encontradas na obra didática, isto porque a categorização padroniza a análise. O Quadro 3 apresenta estas categorias e enfoques.

Quadro 3 – Categorias de análise e respectivos enfoques.

Categoria de análise	Enfoques
Climatologia e questões ambientais	Alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultantes de ações antrópicas que, direta ou indiretamente, podem afetar o bem-estar social e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986)
	Medidas de controle e gerenciamento dos impactos ambientais
Indústria e substâncias químicas	Processos químicos industriais com indicação de riscos físicos, a saúde e/ou ambiente e com formação de resíduos perigosos
	Descrição de substâncias químicas nocivas ao homem e ao ambiente
	Concepção de produtos e processos químicos mais seguros e menos poluentes
Lixo urbano	Origem, destino e problemas com a grande produção de lixo urbano (domiciliar, industrial, hospitalar e tecnológico)

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Em um segundo momento, a pesquisa se volta à análise dos experimentos propostos pelo material (ANEXO A), tendo em vista uma análise do grau de verdura química destas atividades, que é a expressão de como um experimento ou processo atende aos princípios da QV (SANDRI; SANTIN FILHO, 2016). Esta etapa busca avaliar as práticas propostas, com base nos princípios da QV, tendo em vista: avaliação da preocupação com a segurança química; avaliação da preocupação com o descarte e tratamento de resíduos; construção das matrizes verdes (MV). A análise dos primeiros dois pontos segue o roteiro apresentado no Quadro 4, o qual foi adaptado do trabalho realizado por Ataíde, Dantas e Silva (2009) acerca do direcionamentos dos livros didáticos de Química no que diz respeito as práticas que geram resíduos.

Quadro 4 – Roteiro para análise do grau de verdura química dos experimentos.

	Itens analisados no roteiro
Questões de Segurança	O experimento traz riscos para o ambiente escolar?
	O experimento inclui recomendações de cuidados e procedimentos de segurança para prevenir possíveis acidentes?
Informações sobre resíduos	O experimento gera algum tipo de resíduo que necessite de tratamento?
	O experimento apresenta informações sobre descarte e/ou tratamento adequado do(s) resíduo(s) gerado(s)?
	O experimento apresenta informações sobre possíveis impactos do(s) resíduo(s) ao meio ambiente?

Fonte: ATAÍDE; DANTAS; SILVA, 2009. Adaptado.

A avaliação quanto à segurança se refere aos perigos que podem estar associados às substâncias iniciais e aos produtos formados, como toxicidade e inflamabilidade, assim como aos métodos aplicados na execução do roteiro, como fazer uso de fogo ou objetos cortantes. Por outro lado, os resíduos levam em conta todos os componentes que restam após a prática, tendo em vista sua periculosidade ao meio ambiente. Apesar de algumas questões levantadas nestes itens não serem aplicáveis a MV, por não corresponderem aos seus critérios de análise, isto não implica em discordância entre as partes; o intuito é atingir um estudo mais completo.

Para a construção das matrizes verdes são considerados os princípios da QV aplicáveis ao experimento em análise. Os procedimentos de síntese envolvem os princípios P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P10 e P12, enquanto os procedimentos sem síntese consideram os princípios P1, P5, P6, P7, P10 e P12. Os princípios P4 e P11 foram “excluídos”, pois, no contexto do ensino de química, as experiências não costumam incluir o desenho de novos produtos (RIBEIRO; MACHADO, 2012, 2013). O cumprimento dos princípios da QV é avaliado em função dos critérios listados a seguir (Quadro 5).

Quadro 5 – Critérios para avaliação do cumprimento dos princípios da QV.

Princípio	Critério
P1. Prevenção	Não se formam resíduos ou quando se formam têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P2. Economia de átomos	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e sem formação de coprodutos (não se considera a água)
P3. Síntese de produtos menos perigosos	Todas as substâncias envolvidas são inócuas ou têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P5. Solventes e auxiliares mais seguros	Não se utilizam solventes nem outras substâncias auxiliares ou quando se utilizam têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P6. Busca pela eficiência de energia	Pressão e temperatura ambientes
P7. Uso de fonte renováveis de matéria-prima	Todos os reagentes/matérias-primas envolvidos são renováveis
P8. Evitar a formação de derivados	Não se utilizam derivatizações
P9. Catálise	Catalisadores não necessários ou que têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P10. Desenho para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis em produtos de degradação inócuos
P12. Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas têm um risco baixo de acidente químico

Fonte: RIBEIRO; MACHADO, 2012. Adaptado.

Visto que o livro didático não possui atividades de síntese, esta pesquisa restringe sua avaliação de química aos princípios P1, P5, P6, P7, P10 e P12, que foram desdobrados por Sandri e Santin Filho (2016) em dezessete itens de análise: os critérios de 1 a 15 buscam avaliar detalhadamente o cumprimento dos referidos princípios a partir da identificação dos pontos fortes e fracos envolvidos no experimento, enquanto que os critérios 16 e 17 analisam a

contribuição do emprego de materiais alternativos e da contextualização à condução de práticas mais verdes no Ensino Médio. Todos estes pontos seguem apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Critérios para análise da verdura química de experimentos.

Princípio	Critério de Análise	Pontos Fortes	Pontos Fracos
P1	1. Riscos físicos	Uso de reagentes sem indicação de risco físico	Uso de reagentes com indicação de risco físico
	2. Riscos à saúde	Uso de reagentes sem indicação de risco à saúde	Uso de reagentes com indicação de risco à saúde
	3. Riscos ao ambiente	Uso de reagentes sem indicação de risco ao ambiente	Uso de reagentes com indicação de risco ao ambiente
	4. Geração de resíduos	Não há geração de resíduos ou estes são inócuos	Há geração de resíduos
P5	5. Consumo de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais	Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos	Os solventes e/ou os auxiliares representam perigo à saúde ou ambiente
	6. Consumo de água como solvente ou reagente	Consumo baixo ($V \leq 50$ mL)	Consumo alto ($V > 50$ mL)
	7. Consumo de água em resfriamentos ou banhos	Consumo baixo ($V \leq 200$ mL)	Consumo alto ($V > 200$ mL)
	8. Consumo de outros solventes além da água	Consumo baixo ($V \leq 50$ mL)	Consumo alto ($V > 50$ mL)
P6	9. Consumo de energia	Pressão e temperatura ambientes	Pressão ou temperatura diferentes da do ambiente
P7	10. Utilização de substâncias renováveis	Utiliza-se	Não se utiliza
	11. Utilização de substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências ou recicladas após o uso	Utiliza-se	Não se utiliza
P10	12. Uso de reagentes degradáveis a produtos inócuos (exceto água)	Os reagentes em uso são degradáveis	Pelo menos um dos reagentes não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição
P12	13. Riscos de acidentes devido aos reagentes envolvidos	Uso de reagentes sem indicação de risco físico e/ou à saúde	Uso de reagentes com indicação de risco físico e/ou a saúde
	14. Risco de acidentes devido ao uso de certos equipamentos (centrifuga, estufa, mantas; evaporador rotativo, bomba de vácuo e banho termostatizado)	Riscos baixos ou moderados	Riscos elevados
	15. Risco de acidentes devido ao uso de outros materiais vulgares	Riscos baixos ou moderados (vidrarias comuns, termômetros, densímetros, multímetros etc.)	Riscos elevados (gás, fogões, bicos de Bunsen etc.)

Demais critérios analisados			
Uso de materiais alternativos	16. Emprego de materiais do cotidiano (exceto água)	Utiliza-se	Não se utiliza
Contextualização	17. Favorece a contextualização entre o experimento e as situações da vida cotidiana, a tecnologia, a sociedade ou ambiente	Favorece	Não favorece

Fonte: SANDRI; SANTIN FILHO, 2016; COSTA; RIBEIRO; MACHADO, 2012. Adaptado.

Cabe salientar que no artigo publicado por Sandri e Santin Filho (2016) são descritos, ao todo, dezenove critérios. Além dos citados acima, os autores ainda consideram a análise de custo dos procedimentos, a saber os custos dos reagentes e de tratamento ou remoção de resíduos. Estes critérios não foram aplicados neste trabalho, pois entende-se que o alcance do livro permite que este transponha diferentes realidades socioeconômicas, tornando difícil mensurar o que seria um baixo ou alto custo em um contexto tão diverso.

Os riscos associados aos pontos fortes e fracos dos itens 1, 2, 3 (P1) e 13 (P12) são descritos no Quadro 7. Estes dados podem ser encontrados na Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ) de cada substância, através de símbolos, pictogramas e frases que alertam para os perigos dos produtos químicos (ANEXO B).

Quadro 7 – Riscos associados a análise da verdura química dos experimentos.

Risco	Indicação de risco	
Riscos das substâncias envolvidas		
Saúde	Corrosivo; Tóxico; Muito tóxico Prejudicial; Irritante Nenhuma indicação	Elevado Moderado Baixo
Ambiente	Perigoso para o ambiente Nenhuma indicação	Elevado Baixo
Riscos de acidente químico		
Saúde	Corrosivo; Tóxico; Muito tóxico Prejudicial; Irritante Nenhuma indicação	Elevado Moderado Baixo
Inflamabilidade	Muito inflamável; Extremamente inflamável Nenhuma indicação	Elevado Baixo
Reatividade	Explosivo; Agente oxidante Nenhuma indicação	Elevado Baixo

Fonte: RIBEIRO; MACHADO, 2012, 2013. Adaptado.

Como visto, a identificação dos pontos fortes e fracos é seguida da definição das variáveis externas (análise SWOT), tendo em vista os aspectos que podem transformar uma fraqueza em força (oportunidades) e as dificuldades para alcançar este feito (ameaças). Estas variáveis seguem apresentadas no Quadro 8, onde se observa a visão de Ribeiro e Machado (2012, 2013) e se acresce, ainda, as oportunidades que surgem a partir da adaptação adotada

para os critérios de avaliação do cumprimento dos princípios da QV, segundo o detalhamento feito por Sandri e Santin Filho (2016).

Quadro 8 – Dimensões externas da análise SWOT aplicada a matriz verde.

Oportunidades	Ameaças
<p>Substituir ou eliminar substâncias com riscos moderados/elevados por outras com riscos baixos;</p> <p>Eliminar o uso de solventes e auxiliares ou substituí-los por substâncias com riscos baixos;</p> <p>Otimizar o processo para aumentar a economia de átomos (proporções estequiométricas ou próximas);</p> <p>Otimizar o processo para redução do consumo de energia (pressão e temperatura ambientes);</p> <p>Usar reagentes catalíticos com riscos baixos ao invés de reagentes estequiométricos;</p> <p>Não usar derivatizações;</p> <p>Substituir substâncias não degradáveis por substâncias degradáveis à produtos inócuos;</p> <p>Substituir substâncias não renováveis por substâncias renováveis.</p>	<p>Dificuldades em atender os aspectos mencionados nas oportunidades por razões econômicas ou pela inexistência de alternativas conhecidas para os processos em uso.</p>
Demais oportunidades	
<p>Armazenar o resíduo para que possa ser reutilizado em outros experimentos;</p> <p>Diminuir o consumo de solventes ou auxiliares;</p> <p>Substituir substâncias não reutilizáveis ou recicláveis por substâncias que possam ser reutilizadas ou recicladas após o uso;</p> <p>Substituir equipamentos ou materiais que representam riscos elevados de acidentes por outros com riscos mais baixos;</p> <p>Priorizar materiais de fácil acesso e baixo custo;</p> <p>Planejar o roteiro de modo a ser possível contextualizá-lo as situações da vida cotidiana, a tecnologia, a sociedade ou ambiente.</p>	

Fonte: RIBEIRO; MACHADO, 2012, 2013. Adaptado.

Por último, vale ressaltar que o trabalho não objetiva analisar o conteúdo teórico (textos que trabalham os assuntos de natureza técnica), tampouco a estrutura editorial e as especificações técnicas para produção da obra (forma da capa, lombada, diagramação, entre outros) e, por esta razão, não considera nem o conjunto de saberes estritamente curriculares nem os aspectos físicos do livro. O que se considera é adequação da abordagem dos temas em QV, caso presentes, e o grau de veracidade química dos experimentos. Os resultados da pesquisa são detalhados no próximo item, empenhando esforços para compreender seus reais significados, tendo em vista a última etapa da análise de conteúdo.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS

5.1 Análise geral e propostas de sequências metodológicas em QV

A obra didática é constituída por dezenove capítulos divididos em cinco unidades temáticas: mudanças climáticas, oxigênio e ozônio, poluição eletromagnética, poluição de interiores e chuva ácida. Deve se considerar que a construção de unidades a partir de um tema central relacionado ao meio ambiente significa uma grande oportunidade de se estabelecer relação com a QV. Contudo, é importante recordar que uma abordagem direcionada unicamente ao estudo “[...] dos processos químicos que ocorrem na natureza, sejam eles naturais ou ainda causados pelo homem, e que comprometem a saúde humana e a saúde do planeta como um todo” (MOZETO; JARDIM, 2002), não levando em conta a importância do desenvolvimento de tecnologias e processos reacionais que visem a redução do impacto humano ao ambiente é foco da Química Ambiental, não da QV.

Nesse sentido, esta avaliação evidencia apenas os elementos que foram identificados como oportunos à estruturação de uma mentalidade sustentável e verde. Em outras palavras, textos e imagens que possam conduzir a uma reflexão acerca das consequências das ações do homem sob a natureza e convergir a um entendimento de que medidas precisam ser tomadas, em tempo, a fim de reduzir a degradação ambiental e seus efeitos na qualidade de vida das sociedades.

O ponto de partida para esta análise é o texto de introdução que antecede a unidade um e pode ser considerado como a primeira possibilidade de trabalho em QV: Panorama da Química. O primeiro contato ocorre através da seção “saiu na mídia!” numa narrativa que fala sobre o avanço e o desenvolvimento científico-tecnológico proporcionados pelo estudo da Química, ao longo do tempo. A frente, estes aparentes benefícios começam a ser questionados e se estabelece a relação entre a Química e a poluição, fazendo menção, ainda que superficial, ao descaso com as questões ambientais: formulação de produtos altamente tóxicos, de alto consumo energético, de pequena durabilidade ou não biodegradáveis, entre outros. Este assuntos são retomados, ao final, sob a forma de exercícios de revisão.

Nesta escrita introdutória se encontra a única referência direta do livro a QV, uma imagem cuja legenda é “Química Verde. Processos que eliminam ou minimizam a produção de rejeitos”, tal como mostra a Figura 2 (próxima página).

Figura 2 – Representação da Química Verde feita no livro didático “Química I”.



Fonte: FONSECA, 2013, p. 13.

Esta definição não é suficiente para que o aluno, ou outro indivíduo com acesso ao material, entenda o que a vertente significa. Como visto, a QV envolve múltiplos objetivos, dentre os quais se encaixa a redução ou extinção de resíduos danosos a saúde e ao ambiente. Existem diversas formas de se trabalhar QV que poderiam ser aproveitadas neste momento do livro, algumas práticas até comuns, mas que a sociedade não reconhece como parte deste conjunto, como trocar as sacolas plásticas dadas pelo supermercado por ecobags (sacolas reutilizáveis), por exemplo. O que se busca demonstrar é que a adesão ao pensamento sustentável não está limitada a indústria. Os fundamentos da QV podem ser associados a vida cotidiana por meio de atitudes simples e que podem ser incentivadas pela inclusão de ideias que ressaltem a importância de uma mentalidade voltada à manutenção dos recursos naturais.

Como descrito na metodologia, esta avaliação reflete os resultados encontrados quanto a inserção da QV e as abordagens que podem ser desenvolvidas sobre a temática durante o uso do material ou incluídas neste, a partir de uma análise de conteúdo fundamentada em Bardin (1977). A categorização permitiu localizar ideias centrais, isto que reportassem ao foco de cada categoria. Os resultados são descritos no Quadro 9, na próxima página.

Quadro 9 – Resultado da análise de categorias.

Categoria de análise	Ideias centrais	Incidência (capítulos)	Propostas de sequências metodológicas em QV
1 – Climatologia e questões ambientais	Efeito estufa Aquecimento global Camada de ozônio Poluição Chuva ácida	1, 4, 5, 7, 10, 14, 16, 17 e 19	Família das pegadas Calculadora da pegada ecológica
2 – Indústria e substâncias químicas	Riscos ocupacionais Segurança química Toxicidade de processos e/ou produtos Impactos ambientais Adoção de processos e/ou produtos menos agressivos	3, 6, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19.	Princípios da Química Verde Sequestro geológico de carbono Fontes renováveis de energia Princípio da precaução Agrotóxicos Plásticos convencionais e verdes
3 – Lixo urbano	Tratamento e reciclagem	5, 15 e 16	Análise do ciclo de vida Economia circular Erres da sustentabilidade

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Apesar da análise de conteúdo de Bardin propor uma organização por categorias de análise, a apresentação e discussão dos resultados foi organizada em conformidade com as unidades do livro, visando facilitar a compreensão e, em especial, a localização dos textos para os quais as propostas foram feitas. Em alguns momentos, as propostas citadas foram construídas a partir de abordagens CTS tendo em vista a inserção de conceitos em QV sob uma perspectiva mais crítica e reflexiva. Além disso, alguns capítulos apresentavam textos correspondentes a duas categorias, simultaneamente, e, para estes, optou-se por um direcionamento único, sendo a proposta baseada em apenas uma das categorias, com objetivo de alcançar maior diversidade nos temas sugeridos como sequências metodológicas.

5.1.1 Unidade 1 – Mudanças climáticas

A unidade um aborda o tema mudanças climáticas e inclui cinco capítulos (1 a 5). Em sua abertura são apresentadas duas ideias que buscam explicar as mudanças climáticas: a do aquecimento global, que afirma que o homem é o grande responsável pelas alterações no clima da Terra, e a do ciclo natural do planeta, que defende que as atividades humanas não têm impacto suficiente sobre o ecossistema. Nesta, podem ser observadas construções didáticas compatíveis com as três categorias criadas.

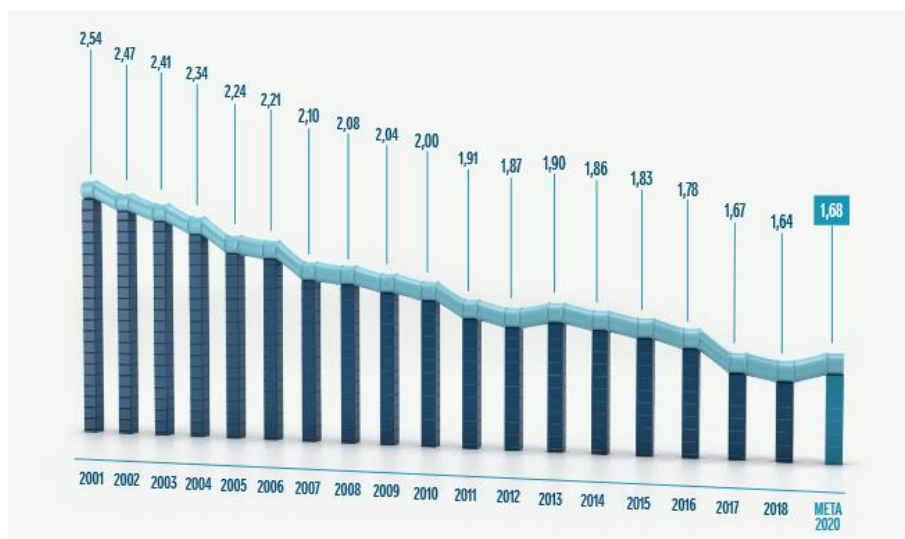
Para a primeira, foram destacados três textos da seção “saiu na mídia!” e o box “curiosidade”, os quais discutem, respectivamente, sobre como as mudanças no regime de ventos e chuvas podem estar relacionadas a grande emissão de gases estufa (GEE) (cap. 1), a pretensão da prefeitura do Rio de Janeiro em reduzir as emissões de GEE em 20% até 2020

(cap. 4), como a estiagem pode afetar o abastecimento de água (cap. 5) e sobre os cétricos do aquecimento global (cap. 4).

Considerado as ideias centrais correspondentes aos textos acima – efeito estufa, aquecimento global e poluição (atmosférica) –, a primeira proposta de sequência metodológica a ser feita é a de associação do tema a família de pegadas, uma vez que o debate sobre as mudanças climáticas implica em avaliar os aspectos das consequências das ações humanas sobre a natureza, como fazem os três indicadores da família.

Para as narrativas que tratam sobre regime de chuvas, estiagem e tratamento de água, a discussão sobre pegadas hídricas pode incorporar uma gama de reflexões: a dependência da PH aos fatores climáticos e hídricos de uma região, o consumo direto e indireto de água doce na fabricação de produtos e a importância da adoção de políticas públicas de incentivo ao uso responsável da água – reuso e diminuição do consumo e poluição. Do modo prático, tendo em vista a inserção desta abordagem, sugere-se a leitura da PH e dos projetos de gestão eficiente da água na cadeia produtiva de empresas conhecidas, como Coca-Cola, Natura, Petrobrás e Unilever. Estas informações estão disponíveis nos ambientes virtuais das instituições e podem ser trabalhadas a parte, conforme o planejamento do professor.

Figura 3 – Litro de água captada por litro de bebida produzida pela Coca-Cola Brasil entre 2001 e 2018.



Fonte: COCA-COLA BRASIL, 2019, p. 28. Adaptado.

A Figura 3 é apenas um exemplo da importância de iniciativas que busquem a gestão eficiente dos recursos hídricos, com ações voltadas para a reutilização, redução de consumo e poluição da água, a exemplo das medidas assumidas pela empresa: aumento do volume de água

de reuso nas fábricas, otimização do enxágue das embalagens e inovações nas linhas de produção (COCA-COLA BRASIL, 2019).

Por outro lado, o estudo da pegada de carbono pode refletir, em especial, sobre como o estilo de vida das pessoas - perfil de consumo, atividades e hábitos rotineiros, serviços prestados ou adquiridos etc. - está relacionado a emissão de gás carbônico e, por consequência, as alterações climáticas. Esta discussão é justificada pelo texto jornalístico do capítulo quatro, onde a preocupação em reduzir a emissão de gases estufa implica em reduzir, necessariamente, a pegada de carbono da cidade do RJ. Neste contexto, as ações apresentadas, como reflorestamento, expansão de ciclovias, programas de aluguel de bicicletas e aumento da reciclagem do lixo urbano, podem ser o ponto de partida para o desenvolvimento de ideias sustentáveis: evitar hábitos consumistas, preferir produtos com embalagens recicláveis ou recicladas, reduzir o uso de carros particulares, repensar a alimentação e o desperdício de alimentos, conservar a biodiversidade, entre outras.

Uma ferramenta interessante é a calculadora da pegada ecológica, que mede a quantidade de recursos naturais renováveis necessários para manter o estilo de vida de uma pessoa, incorporando os três indicadores da família das pegadas. O recurso é simples e pode ser acessado através da internet, como nos sites da organização WWF-BRASIL (Figura 4) e do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que também dispõem de uma versão mais simples em uma cartilha ilustrada.

Figura 4 – Calculadora da pegada ecológica.

A imagem mostra a interface de uma calculadora de pegada ecológica. No topo, há o logotipo 'pegada ECOLÓGICA' com ícones coloridos. Abaixo, uma barra de navegação contém botões para 'Alimentação', 'Moradia', 'Bem', 'Serviço', 'Tabaco' e 'Transporte'. O botão 'Alimentação' está selecionado e destacado em verde. A seção principal, intitulada 'Alimentação', pergunta 'COMO É SUA DIETA?' e oferece quatro opções com controles deslizantes para ajuste:

- VEGANA**: Minha alimentação diária é totalmente composta por vegetais. Não como nada de origem animal.
- VEGETARIANA**: Não como carnes nem peixes, mas consumo produtos de origem animal, como ovos, leite e derivados.
- ONÍVORA**: Costumo comer vegetais e carnes, variando entre frango, peixe, porco e vaca.
- PREFERÊNCIA POR CARNE VERMELHA**: Costumo comer vegetais e carnes, variando entre frango, peixe, porco e vaca.

Na base da interface, há ícones representando diferentes fontes de alimentos: árvores, um peixe, uma casa, um galinheiro e um bovino. Um botão 'Próximo' está visível no canto inferior direito da área de formulário.

Fonte: WWF-BRASIL. Disponível em: <http://www.pegadaecologica.org.br/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

Em ambos os casos, basta responder a perguntas sobre diferentes temas - alimentação, moradia, energia, bens e serviços, transportes e outros – que, ao final, o indivíduo saberá quantos planetas seriam necessários para sustentar seu estilo de vida. Esta reflexão pode ser estendida a pegada ecológica de toda uma sociedade e ao chamado Dia da Sobrecarga da Terra, a fim de discutir a relação entre a demanda da humanidade e a capacidade de renovação dos ecossistemas terrestres, num dado ano. No Brasil, em 2019, isto significaria consumir 1,7 planetas e zerar os recursos no final de Julho (DEUTSCHE WELLE, 2019).

A segunda categoria pode ser observada no boxe “de onde vem... para onde vai?” (cap. 3), que descreve resumidamente as etapas do processo industrial de obtenção do óxido de cálcio (CaO) e discute sobre sua extração irregular, propondo uma atividade em equipe que pondere a respeito do trabalho nas caieiras. Para este texto, a sugestão metodológica envolve uma avaliação dos impactos ambientais relacionados à produção da cal, em virtude da grande emissão de CO₂ e do alto consumo energético, e de medidas que possam esverdear o processo (objetos de estudo), visando o conceito de uma produção mais limpa, como o sequestro geológico de carbono e a substituição dos fornos de calcinação, que queimam combustível fóssil, pelo potencial emprego de fornos a base de energia solar (a alternativa é protótipo em escala-piloto avançada), por exemplo (PORTAL SOLAR, 2020).

A última categoria integra uma narrativa sobre lixo doméstico (cap. 5), em que se destaca a capacidade que os resíduos possuem de voltar ao ciclo de produção do qual foram descartados para serem reciclados; alusão que abre espaço para a discussão de temas como ciclo de vida de um produto, economia circular e/ou os erros da sustentabilidade. Em ambos os casos, existe a possibilidade de avaliar os benefícios envolvidos na transformação do “lixo” em novos recursos e de refletir sobre a redução da quantidade de lixo quando se evita a constante troca de materiais usados por novos, optando por reutilizá-los ou repará-los, quando possível – escolha que nem sempre será a mais rentável, já que muitas empresas tornam a troca do produto mais barata que seu reparo, incentivando a economia linear.

O desenvolvimento dos tópicos sugeridos pode partir de exemplos de produtos cotidianos, como embalagens de bebidas ou artigos de vestuário. Independente do item, entende-se que o essencial é refletir sobre os impactos envolvidos desde a concepção até o descarte final de um produto e nas formas de minimizá-los, tanto por iniciativas da indústria quanto dos próprios consumidores. Nisto, a abordagem pode considerar o papel das cooperativas de catadores e tratar sobre o processo de coleta seletiva, que pode ser desenvolvido por meio de um órgão público, como a Comlurb, no Rio de Janeiro, ou através de postos de

coleta de materiais – lâmpadas, pilhas, baterias, resíduos orgânicos, entre outros – que podem ser encontrados em estabelecimentos diversos, associações de moradores e até mesmo pela própria escola, por exemplo.

5.1.2 Unidade 2 – Oxigênio e ozônio

A segunda unidade, que abrange os capítulos de seis a nove, se inicia com uma breve exposição da importância do equilíbrio entre os gases oxigênio e ozônio como forma de proteção do homem e se encerra apontando para a divergência de ideias quanto a potencialidade da atividade humana nas mudanças que ocorrem no planeta. Nesta, podem ser observadas as categorias climatologia e questões ambientais (1) e indústria e substâncias químicas (2).

A primeira categoria corresponde a um texto da seção “saiu na mídia!”, que discute a visão de aquecimento global e destruição da camada de ozônio como problemas de caráter pseudocientíficos (cap. 7), enquanto a segunda inclui o boxe “curiosidade” (cap. 6), que questiona se há neutralidade na Ciência, mencionando o exemplo do teflon, sintetizado para fins bélicos e não para revestimentos, e a seção “de onde vem... para onde vai?” (cap. 9), que relata o processo industrial de obtenção do fósforo e alguns riscos associados à sua manipulação.

Frente aos resultados, a primeira proposta de sequência metodológica busca, no campo CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), a compreensão dos discursos de neutralidade da Ciência e suposto caráter pseudocientífico de questões ambientais (cap. 6 e 7), associando as duas categorias de análise. Para Aikenhead (2005, p. 311, tradução nossa), a prática CTS entende que “aprender a aprender e ser capaz de utilizar o que foi aprendido (para a reconstrução social, talvez) é mais interessante do que massificar o conhecimento científico”, sendo este um dos valores profissionais dos educadores CTS.

Nesse sentido, em concordância com Rosa e Strieder (2018), se faz oportuno um debate voltado para o entendimento de que o desenvolvimento científico-tecnológico está atrelado a sociedade, tal como a sociedade está interligada a este, sendo uma relação de influências mútuas, de modo a destacar como os impactos da Ciência e Tecnologia não são resultados apenas do uso que pode ser feito de um produto ou serviço, mas de um processo que compreende valores e interesses políticos, econômicos, sociais, ambientais e científico-tecnológicos, num espaço de tempo. Neste caminho, é possível refletir sobre a importância do

método científico na comprovação de um fato, distinguindo a Ciência da pseudociência, a qual pode ser a premissa de equívocos em processos de tomada de decisão (MARÇAL, 2016).

Para o boxe “de onde vem... para onde vai?” (cap. 9), que expõe as etapas da produção do fósforo, considera-se como proposta de sequência metodológica uma análise a luz dos princípios da QV, a fim de avaliar os impactos que podem ser causados por este tipo de indústria. A proposta tem em vista os pontos trazidos pela narrativa, a qual menciona o reaproveitamento do monóxido de carbono, gerado no processo, como fonte de energia térmica e, ao final, propõe um trabalho em grupo onde os tópicos envolvem o histórico de obtenção dos palitos de fósforo (“fogo portátil”), o uso do elemento como arma química e os riscos ocupacionais da indústria atual. Neste contexto, destacam-se os princípios referentes a síntese e desenho de produtos seguros (P3 e P4), integração de energia (P6) e segurança química (P12).

Dentre as relações que podem ser estabelecidas, têm-se: síntese e desenho de produtos seguros para tratar das substâncias envolvidas, em função de suas toxicidades a saúde humana e desenvolvimento de doenças ocupacionais – a exemplo do monóxido de carbono que é uma substância asfixiante e do fósforo que é potencialmente perigoso para o organismo humano –; integração de energia para discutir o uso do gás gerado como fonte de calor em outras seções da fábrica; e segurança química para ponderar sobre possíveis acidentes, como o risco de explosão, uma vez que o fósforo branco é inflamável – sua combustão produz uma fumaça branca altamente irritante (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1996 e 2014).

O tema armas químicas – citado nos boxes “curiosidade” (cap. 6) e “de onde vem... para onde vai?” (cap. 9), – também pode ser explorado a partir da QV, refletindo a preocupação com o uso da Ciência e buscando o desenvolvimento do seu papel de prevenção. Segundo o Comitê Internacional da Cruz Vermelha (CICV),

Os avanços atuais em áreas como as Ciências Biológicas e Biotecnologia, bem como mudanças no entorno de segurança, aumentaram a preocupação de que a restrição duradoura ao uso de armas químicas e biológicas possa ser ignorada ou esteja desgastada. [...] O grande potencial para importantes avanços tanto benéficos como nocivos que as ciências químicas e biológicas trazem, significa que a vigilância contra o uso indevido para desenvolver armas químicas e biológicas continua sendo de vital importância (COMITÊ INTERNACIONAL DA CRUZ VERMELHA, 2013).

As grandes guerras mundiais, com seus ataques a base de gases venenosos, fósforo branco e destruição nuclear provocada pela bomba atômica, levaram a iniciativa internacional de banimento das armas químicas. Contudo, os noticiários ressaltaram, em 2018, um suposto ataque com bombas de gás venenoso que deixou dezenas de mortos em Duma, na Síria (G1,

2018) – ataques semelhantes também já haviam ocorrido em anos anteriores –, demonstrando que o receio do CICV é real e precisa ser dirigido no sentido de planejamento de ações que evitem a manipulação destrutiva da Ciência.

No que tange a QV, este debate exige um entendimento abrangente que possibilite a plena incorporação da Química nos contextos científico, tecnológico, social e ambiental em que se desenvolve e aos quais está cada vez mais condicionada. Segundo Machado (2011), esta assimilação pode ser mais facilmente conseguida numa perspectiva de trabalho CTS, a qual se sugere atrelada ao ponto de vista da interdisciplinaridade, buscando na comunicação entre áreas de conhecimento uma ponderação não somente sobre os danos a humanidade, mas também das motivações dos grupos envolvidos, da presença indispensável da Ciência e Tecnologia, das convenções e tratados que limitam as barbáries da guerra.

5.1.3 Unidade 3 – Poluição eletromagnética

A terceira unidade integra quatro capítulos (10 a 13) e disserta sobre o tema poluição eletromagnética, o qual é brevemente explicado e exemplificado em sua narrativa de abertura. Os textos destacados correspondem a possíveis discussões direcionadas a QV através das categorias 1 e/ou 2: na seção “saiu na mídia!” (cap. 10 e 13, nesta ordem), as narrativas sobre a relação entre tecnologia e radiação (1 e 2) e a possibilidade de substituição de metais por plásticos (nanocompósitos) condutores de eletricidade (2); e a seção “compreendendo o mundo”, onde se aborda a controvérsia da inocuidade dos aparelhos móveis à saúde humana, sobretudo para crianças (1 e 2). As propostas foram direcionadas a segunda categoria.

Diferentemente das unidades anteriores, a três não trabalha um tema cujas pesquisas, até o momento, tenham conclusões definitivas sobre os efeitos nocivos ao bem-estar humano e ao ambiente. Ainda assim, a literatura reporta algumas possíveis consequências à saúde em função da exposição contínua à poluição eletromagnética: depressão, fadiga, perturbação do sono, mudanças de comportamento, danos ao cérebro, mal de Parkinson, Alzheimer, envelhecimento precoce das células, entre outras (BATISTA, 2006; MARQUES, 2015). Somado a isso, do ponto de vista ambiental, ainda existe a possibilidade de desorientação do voo de algumas aves (MARQUES, 2015).

O tema abre caminho para que a QV possa ser inserida através de construções didáticas que reflitam sobre o consumo intensivo de tecnologias que emitem radiação não-ionizantes, a importância do design de produtos com menor potencial de risco e as políticas públicas que

podem ser pautadas no princípio da precaução, o qual entende que “[...] quando uma atividade levanta possibilidade de nocividade à saúde humana ou ao meio ambiente, medidas preventivas devem ser tomadas, mesmo se alguma relação de causa e efeito não for completa e cientificamente estabelecida” (DODE; LEÃO, 2004, p. 133). Isto oportuniza conduzir o alunado a uma avaliação da sociedade tecnológica atual através de uma perspectiva crítico-social do movimento CTS.

Esta pode considerar discussões que envolvam a criticidade dos estudantes a partir de diferentes temas como, por exemplo: o uso de cerca de 230 milhões de smartphones no Brasil, em 2019 (ESTADÃO CONTEÚDO, 2019); os estudos em nanotecnologia que estão sendo desenvolvidos visando o bloqueio e a contenção da radiação eletromagnética de aparelhos eletrônicos (SHAHZAD *et al.*, 2016) – como se destacou no texto do capítulo 13 –; e a Lei Nº 11.934/2009 que dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (BRASIL, 2009).

5.1.4 Unidade 4 – Poluição de interiores

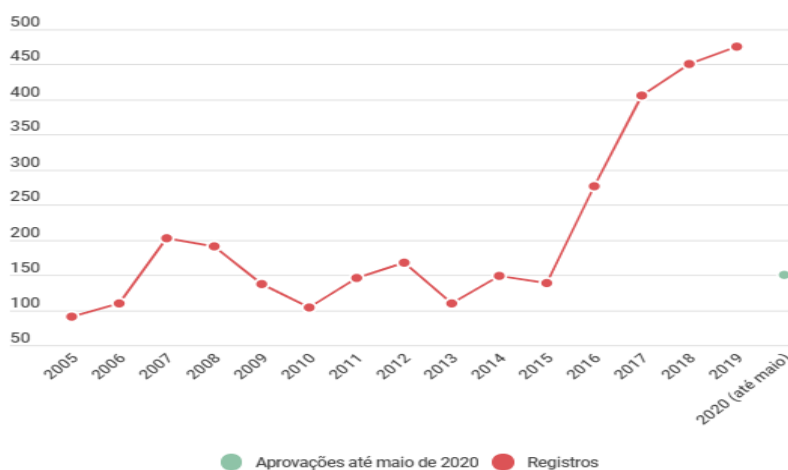
A unidade quatro é formada por três capítulos (14 a 16) e discute sobre a poluição atmosférica de interiores e como ela pode ser superior à de ambientes externos. Inicialmente, dois textos jornalísticos encontrados na seção “saiu na mídia! podem ser inclusos nas categorias 1 e 2, concomitantemente: o primeiro, sobre fontes de poluição de interiores mais comuns, como radônio, fumaça de tabaco e produtos domésticos (cap. 14) – o radônio é discutido em outro texto que explica como suas características químicas o tornam um poluente; e o segundo, que chama atenção ao fato de que a poluição do ar de interiores pode ser intensificada em cenários específicos (cap. 16).

Frente aos textos iniciais dos capítulos quatorze e dezesseis, surge mais uma oportunidade de discutir a importância da QV no desenho, desenvolvimento e incorporação de produtos seguros (LENARDÃO *et al.*, 2003). A proposta corresponde aos objetos de estudo da segunda categoria pois as passagens sugerem que a poluição de interiores (categoria 1) é uma consequência da disseminação de produtos tóxicos em ambientes fechados. Desse modo, a abordagem pode ser direcionada a reflexões quanto a importância do desenvolvimento de metodologias que priorizem produtos menos agressivos ao homem e as alternativas a produtos cotidianos de toxicidade moderada/alta, por exemplo. Esta ideia pode ser aplicada em outros momentos, ao longo desta unidade.

O boxe “curiosidade” (cap. 16) traz algumas informações acerca dos poluentes orgânicos persistentes (POPs), desde características gerais da classe de substâncias (tóxicas e biocumulativas) até a menção ao Tratado Internacional de Banimento dos doze POPs considerados mais perigosos. Este texto se insere na categoria 2, uma vez que trata de substâncias químicas utilizadas e/ou produzidas em processos fabris, particularmente.

Entre as possibilidades de trabalho, sugere-se uma discussão do livro (ou parte dele, advindo de um resumo preparado pelo professor) “Primavera Silenciosa”, da bióloga Rachel Carson, de 1962. A obra, considerada um marco do movimento ambientalista da década de 70, alerta sobre as consequências do uso indiscriminado de pesticidas, na época organoclorados e atualmente classificados como poluentes orgânicos persistentes (POPs). A degradação da natureza mediante a intervenção humana também é um assunto abordado pelo livro e reflete a urgência em se buscar métodos não destrutivos (CARSON, 2010). Primavera Silenciosa é referência teórica no campo da QV e potencialmente capaz de fundamentar debates ainda atuais, que exigem do indivíduo a capacidade de opinar e decidir conscientemente e, cada vez mais, em favor da sustentabilidade. A Figura 5 reflete a quantidade de agrotóxicos aprovada nos últimos quinze anos e como este número seguiu crescente entre 2015 e 2019.

Figura 5 – Total de agrotóxicos registrados (por ano) de 2005 a maio de 2020.



Fonte: INFOGRAM, 2020. Disponível em: <https://infogram.com/total-de-agrotoxicos-registrados-1h7z2lrvx99x2ow>. Acesso em: 16 jun. 2020.

Segundo o Instituto Nacional de Câncer (2019), a exposição ao produto pode causar várias doenças, dependendo do defensivo que foi utilizado, do tempo de exposição e da quantidade absorvida pelo organismo. O Brasil está entre os países que mais consomem agrotóxicos no mundo e esta alta demanda é fruto de vários fatores, entre eles o clima tropical que favorece o ciclo de pragas, a evolução da produção agrícola e a expansão da monocultura (VASCONCELOS, 2018). Como mostra o gráfico acima, em 2019, o governo brasileiro liberou

o uso de 475 agrotóxicos e, até maio de 2020, já havia registrado outros 150 defensivos agrícolas. Estes números reforçam a importância de se discutir o uso de pesticidas e buscar contrapor argumentos de defesa e crítica ao produto, reconhecendo que sua capacidade de aumentar a eficiência do campo e periculosidade que sujeita o meio ambiente e a população, sobretudo rural, a grandes riscos de contaminação e doenças, respectivamente.

Outra narrativa a ser considerada é a que trata da substituição de amianto por plástico, localizada na seção “saiu na mídia!” do capítulo 15. A menção às alternativas ao material, aponta para o enfoque da segunda categoria e, com isso, para os objetivos centrais da QV: a pesquisa e o desenvolvimento de produtos menos agressivos. Além disso, as fibras plásticas podem ser o início de uma ponderação sobre a indústria dos plásticos verdes. Um exemplo é o polietileno (PE) verde de fonte 100% renovável, produzido pela Braskem (petroquímica brasileira) a partir do etanol derivado da cana-de-açúcar, o primeiro biopolímero a ser produzido em escala industrial (BRASKEM, 2019a). A Figura 6 resume a cadeia produtiva do PE verde.

Figura 6 – Esquema do ciclo de vida do PE verde.



Fonte: BRASKEM, 2019c, p. 4.

De acordo a figura acima, a análise do ciclo de vida do PE verde revelou que cada 1 tonelada do produto captura 3,09 toneladas de CO₂, o que corresponde a uma pegada de carbono negativa. No entanto, o ciclo apresentado na imagem não fecha como o ciclo da economia circular e isto se deve ao fato de o polímero verde não ser biodegradável e ter, portanto, o mesmo destino do polietileno convencional, cujo resíduo não é reinserido na cadeia produtiva. Outras questões podem ser abordadas, sendo possível dialogar sobre a competição direta entre a produção de PE verde e a de etanol para combustível a partir da cana-de-açúcar e/ou sobre o descarte responsável e as possibilidades de reciclagem do produto (recordando o estudo

sugerido na primeira unidade), por exemplo, buscando refletir acerca das vantagens e desvantagens desta indústria.

O uso do plástico também é abordado no boxe “de onde vem... para onde vai?” (cap. 16), ao falar sobre o policloreto de vinila (PVC): processo industrial, suas variedades, gama de produtos, riscos à saúde humana e importância do descarte adequado dos produtos médico-hospitalares que fazem uso do material. Para este, a proposta segue caminho semelhante ao do parágrafo anterior, podendo ser feita uma conexão entre os textos. Além disso, ao tratar do processo industrial do PVC, o livro sugere um trabalho de pesquisa sobre a viabilidade de materiais e rotas sintéticas isentas de cloro, como forma de prevenir a formação de dioxinas (POP) pela combustão de produtos clorados. Neste, um grupo deve provar que a transição é viável enquanto outro atua de forma contrária; proposta que pode vir a ser desenvolvida através da técnica da controvérsia controlada, consonante ao enfoque CTS.

Segundo Alves e Rôças (2017), o método envolve uma rede de argumentações e contra argumentações construídas pelos personagens envolvidos na trama, os chamados atores sociais. A vivência da controvérsia controlada considera aspectos como organização, pesquisa e estudo prévio, exposição e debate de ideias, interpretação pessoal e avaliação; neste caso, não há um certo ou errado, como sugere a atividade proposta pelo livro, e sim a oportunidade de os alunos manifestarem suas opiniões e reavaliarem seus posicionamentos frente as informações construídas coletivamente.

Vale ressaltar que a controvérsia depende da existência de um material de apoio, que pode ser fornecido pelo professor (textos jornalísticos, sites, artigos, vídeos, entre outros) para fomentar a pesquisa do aluno, que será feita em casa e apresentada na data combinada para a execução da técnica. Uma sugestão de leitura que também pode ser utilizada no debate sobre o PVC, tendo em vista outras características do material, é o estudo comparativo entre janelas brancas de PVC e de alumínio, realizado pelo Instituto Brasileiro do PVC (201-), que revelou que a janela de PVC produz menos prejuízos ao meio ambiente devido o menor consumo de energia, uso da terra, consumo de recursos, doenças ocupacionais e acidentes, emissões atmosféricas, de efluentes e resíduos sólidos e potencial de toxicidade quando considerado todo o ciclo de vida de ambos os produtos.

5.1.5 Unidade 5 – Chuva ácida

A última unidade do livro trabalha o tópico chuva ácida e inclui três capítulos (17 a 19). Após breve explicação do assunto, o texto de abertura aponta para uma importante reflexão sobre as diferenças políticas envolvidas na problemática. Nesta, podem ser observadas construções didáticas compatíveis com as categorias 1 e 2, no entanto, todas as propostas foram direcionadas a segunda.

De início, foram destacados dois textos da seção “saiu na mídia!” e o boxe “curiosidade”, os quais discutem, respectivamente, sobre a relação entre o aumento da poluição e a chuva ácida (cap. 17), como queimadas podem provocar a precipitação deste tipo de chuva (cap. 19) e como a esta pode provocar problemas a saúde humana através da liberação de metais pesados no solo (cap. 19).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2014?), os setores industriais e de geração de energia, os veículos automotores e as queimadas são os maiores responsáveis pela poluição atmosférica antropogênica, ou seja, provocada pelo homem, podendo resultar, dentre outras consequências, na precipitação de chuvas ácidas. Por esta razão, a primeira proposta de sequência metodológica leva em conta o paralelismo que pode ser estabelecido entre os textos da seção “saiu na mídia” (cap. 17 e 19) e do boxe “curiosidade”, tornando oportuna a abordagem dos princípios da QV relativos a(o) prevenção (1), síntese de produtos menos perigosos (3), desenho de produtos mais seguros (4), uso de fontes renováveis de energia (7), catálise (9) e análise em tempo real para prevenção da poluição (11).

Muitos discursos podem ser construídos a partir dos princípios citados. Um exemplo seria a exploração do petróleo como fonte de matéria-prima para uma gama de indústrias – petroquímica, cosmética, farmacêutica, alimentícia, entre outras – e os problemas decorrentes da queima de combustíveis fósseis. Esta discussão pode envolver, entre outros pontos, a conscientização quanto aos hábitos de consumo, que impulsionam a produção nas fábricas, a urgência em reduzir a emissão de poluentes – como materiais particulados, CO₂ e óxidos de nitrogênio (NO_x) e enxofre (SO_x) –, seja na cadeia produtiva ou no transporte individual diário, e a importância de processos mais limpos quanto possível.

Mais detalhadamente, os princípios 1, 3 e 4 podem ser trabalhados considerando exemplos de medidas que foram e estão sendo tomadas no sentido de diminuir a poluição do ar e, conseqüentemente, a chuva ácida, como a redução do teor de enxofre nos óleos combustíveis – em 2009 o teor de enxofre médio do combustível brasileiro era de 500 mg/kg e baixou para

200 mg/kg em 2013 (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2019). Esta discussão abre espaço para outros exemplos, a saber: a incorporação de biocombustíveis e de fontes renováveis de energia na matriz energética mundial, levando ao princípio 7; e o uso de sistemas catalíticos redutores de emissão de óxidos de nitrogênio por veículos automotores, que concretiza o princípio 9.

Estas medidas em favor da redução de poluentes atmosféricos podem levar ao último princípio proposto, procurando refletir sobre a importância da adoção de técnicas de monitoramento contínuo das fontes de poluição. Nisto, pode ser proveitoso discutir acerca da existência de tecnologias de identificação e quantificação de poluentes, as quais contribuem para o controle e a prevenção da emissão de compostos deletérios ao homem e meio ambiente, em geral. Isto implica em ressaltar que a medição da qualidade do ar não é responsabilidade exclusiva do setor industrial, a população também precisa de informações quanto ao ar que respira nos centros urbanos, o que deve ocorrer por meio de projetos da gestão pública local: em São Paulo, por exemplo, existem estações de medições diárias cujos dados são processados com base nos padrões legais e disponibilizados de hora em hora na internet (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

Ao longo do capítulo dezoito, foram observadas outras oportunidades de trabalho em QV: um texto da seção “saiu na mídia!”, que aborda os perigos aos quais estão expostos os mineiros de enxofre de vulcão – riscos à saúde, pouco equipamento de segurança e método de extração arcaico e extremamente tóxico –; o boxe “cotidiano químico”, que fala sobre a diluição segura de ácidos fortes em água; boxes laterais, que tratam das aplicações e toxicidade dos óxidos de nitrogênio (NO_2 e N_2O) e do ácido bórico; e o retrato de um operário que manipula óxido de chumbo de posse dos EPIs (equipamentos de proteção individual) necessários. As narrativas deste capítulo podem ser trabalhadas tendo como base a preocupação da QV em garantir a segurança química e, por este motivo, se inserem na segunda categoria da análise de conteúdo.

O texto da seção “saiu na mídia!” contrasta com o cenário descrito no boxe “cotidiano químico”, que retrata o preparo de uma solução num laboratório, ressaltando os cuidados que devem ser tomados, assim também com a imagem do operário equipado com os EPIs necessários ao trabalho que estava realizando. A percepção da toxicidade e até restrição de determinadas substâncias, como destacam os boxes laterais, exemplificam atitudes oriundas de uma análise de riscos. Como foi visto, a garantia de segurança química é fundamental para o desempenho de um procedimento químico e consequente enfrentamento dos problemas

relacionados à poluição. No entanto, a realidade de trabalho, muitas vezes informal, não a coloca como prioridade.

Frente a isto, a segurança química deve ser reconhecida como uma questão que envolve inúmeros atores – autoridades governamentais, indústrias, representantes trabalhistas, consumidores, grupos de cidadãos, instituições científicas, entre outros (FREITAS *et al.*, 2002) – e que pode ser levada a sala de aula como forma de enriquecer os estudos em química, especialmente ao se trabalhar com um material didático que inclui atividades experimentais. Vale recordar que este será um dos tópicos de análise no próximo item, tendo em vista o grau de verdura química dos experimentos do livro.

Por último, o texto da seção “compreendendo o mundo, que encerra a quinta unidade (e o livro), pode ser uma ocasião favorável para uma síntese dos temas ambientais trabalhados durante o período de estudo. Com isso, surge uma possibilidade de reconsiderar o papel da QV na prevenção aos danos que a indústria e os hábitos de consumo da sociedade moderna podem causar a natureza e ao bem-estar humano, bem como as propostas inseridas nas três categorias em estudo, uma vez que se faz necessário, e cada vez mais urgente, repensar o modo de produzir e consumir os bens e produtos que derivam da exploração dos recursos naturais em prol do desenvolvimento sustentável.

5.2 Análise do grau de verdura química dos experimentos

Os dez experimentos presentes no livro foram analisados a fim de avaliar o grau de verdura química de cada procedimento e discutir sobre a importância de uma mentalidade voltada à sustentabilidade na prática experimental. Desse modo, esta seção se destina a discussão dos resultados deste estudo, tendo em vista a preocupação do material com a segurança química e o descarte e tratamento adequado dos resíduos, além da construção das matrizes verdes. O Quadro 10 (próxima página) apresenta a localização, o título dos experimentos e uma numeração atribuída a estes, a qual foi determinada pela autora do trabalho.

Quadro 10 – Enumeração dos experimentos do livro “Química I”.

Unidade	Capítulo	Título do experimento	Numeração
1	Grandezas físicas	Densidade e correntes de convecção	1
	Propriedades da matéria	Indícios de transformações químicas	2
		Indicadores ácido-base	3
2	Reações químicas	Combustão na balança de pratos	4
	Átomos e moléculas	Eletrólise da água	5
	Notações químicas	Relação de massas	6
3	Elettricidade e radioatividade	Eletrólitos e não eletrólitos	7
4	Ligações covalentes	Polaridade e solubilidade	8
	Forças intermoleculares	Bolhas mais resistente	9
5	Compostos inorgânicos	Crescimento de cristais	10

Fonte: FONSECA, 2013. Elaborado pela autora, 2020.

De maneira geral, todas as propostas apresentam informações básicas à compreensão e realização correta do experimento: listagem dos materiais necessários a todas as etapas, majoritariamente de fácil acesso e manuseio, e descrição de todo o procedimento experimental. Além disso, todas as atividades possuem o tópico “investigue”, um grupo de perguntas a serem respondidas pelos alunos após a observação dos resultados experimentais, a fim de discutir a natureza dos fenômenos, introduzir novos conceitos ou estabelecer relações entre a prática e o cotidiano social.

Apesar dos pontos positivos, somente alguns experimentos possuem informações com relação às medidas de segurança a serem adotadas e sobre a importância do descarte e tratamento adequado dos resíduos químicos gerados. Sendo o público-alvo alunos do 1º ano do Ensino Médio, acredita-se que poderia haver uma breve instrução sobre boas práticas no ambiente de realização da atividade, que pode vir ser a sala de aula ou o laboratório, assim como dicas básicas de primeiros socorros. A inclusão destas informações pode ser útil na familiarização do estudante com o momento de trabalho, uma vez que este pode ser o seu primeiro contato com um experimento químico, e na sua proteção. Isto poderia ser feito através de apêndices, boxes informativos ou sugestões de pesquisa que antecedessem alguma atividade prática, por exemplo.

A Figura 7 (próxima página) ilustra a apresentação do segundo experimento do livro, o qual foi escolhido por incluir o máximo de elementos informativos: título, divisão da prática em etapas, descrição dos materiais e de como fazer o procedimento, ilustrações, dicas de segurança, descarte de rejeitos e investigue.

Figura 7 – Experimento do conteúdo de Propriedades da Matéria.

Indícios de transformações químicas

Parte 1: Refrigerante de laranja e água sanitária

Material necessário

- 1 copo de vidro
- 1 colher de sopa
- 50 mL de refrigerante de laranja
- solução aquosa de hipoclorito de sódio (água sanitária)

Como fazer

Coloque 50 mL de refrigerante de laranja no copo. Adicione 2 colheres de sopa de hipoclorito de sódio e mexa bem. O que você observa?

Parte 2: Preparação da água de cal

Material necessário

- 200 mL de água
- cal virgem (óxido de cálcio)
- 1 copo de plástico de 300 mL
- 1 pires de vidro ou de cerâmica
- 3 filtros de papel (do tipo utilizado para coar café)
- 1 porta-filtro
- 1 bule de cerâmica ou de vidro
- 1 colher de sopa de plástico
- 1 garrafa PET pequena, transparente, vazia, limpa e com tampa
- 1 termômetro de uso culinário (opcional)

Como fazer

Coloque 200 mL de água no copo. Adicione 2 colheres de sopa de cal, mexa cuidadosamente e verifique a temperatura do copo pelo lado externo tocando-o com as mãos ou, se tiver o termômetro, meça a temperatura da solução. O que você observa?

Tampe o copo com o pires e deixe a solução decantar até o dia seguinte. Sem agitar o copo para que o precipitado branco depositado no fundo não se misture muito com o líquido (sobrenadante), passe a solução pelos filtros de papel. Antes, coloque-os um dentro do outro no porta-filtro e encaixe no bule. Guarde o líquido limpo na garrafa PET tampada, pois voltaremos a usá-lo mais algumas vezes.

Descarte de rejeitos

Os filtros de papel com a cal hidratada podem ser encaminhados ao aterro sanitário (lixo comum).

Parte 3: Soprando a água de cal

Material necessário

- 100 mL de água de cal (metade do que foi obtido na parte 2 deste experimento)
- 1 copo de vidro
- 1 canudo de plástico

Parte 4: Carbonato de cálcio e vinagre

Material necessário

- 1 copo de vidro
- 1 colher de sopa
- líquido obtido no experimento anterior
- Vinagre

Como fazer

Adicione uma colher de sopa de vinagre no líquido obtido no experimento anterior. O que você observa?

Descarte de rejeitos

O líquido que sobrou pode ser descartado no esgoto.

Investigue

1. Com base nos experimentos propostos, indique quais os principais indícios de que possa ter ocorrido uma transformação química em um determinado sistema.
2. Pesquise e explique, com base na parte 4 do experimento, por que dizem que o ambiente de uma casa recém-cajada apresenta um ar bastante fresco e agradável.

CUIDADO!
Responsabilidade é toda!

Dica de segurança
Cuidado ao manipular a água sanitária e o óxido de cálcio. Não ingeri-los.

CUIDADO!
Responsabilidade é toda!

Dica de segurança
A água de cal não pode ser ingerida.

Fonte: FONSECA, 2013, p. 45-46.

5.2.1 Avaliação da preocupação com a segurança química

O Quadro 11 apresenta os resultados observados para a primeira parte do roteiro previamente estabelecido, retratando apenas os experimentos que respondem positivamente as questões relacionadas à segurança.

Quadro 11 – Resultados da primeira parte do roteiro para análise da verdura química dos experimentos.

Questões de segurança	
Itens analisados no roteiro	Experimento com resposta positiva (sim)
O experimento traz riscos para o ambiente escolar?	2, 3, 4, 5 e 10
O experimento inclui recomendações de cuidados e procedimentos de segurança para prevenir possíveis acidentes?	2, 3, 4 e 5

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Os dados acima revelam que cinco experimentos apresentam riscos para o ambiente escolar, ou seja, expõem alunos e professores a possíveis acidentes que possam causar danos a integridade física e/ou a saúde destes indivíduos. Neste caso, é imprescindível que os experimentos sejam acompanhados de recomendações claras quanto aos cuidados essenciais que devam ser praticados. No entanto, como pode ser observado, apenas quatro das atividades incluem dicas de prevenção contra acidentes. Estes resultados seguem discutidos abaixo.

a) Experimento número 2 – Indícios de transformações químicas

O experimento tem como objetivo a observação de sinais que evidenciam a ocorrência de uma reação química: mudança de cor, formação de precipitado e liberação de gás. Analisando a descrição dos materiais e métodos, nota-se que o livro indica o uso de duas substâncias a serem manipuladas com cuidado: solução aquosa de hipoclorito de sódio (água sanitária) – utilizada para descolorir um refrigerante de laranja – e óxido de cálcio (CaO) – utilizada na reação com o gás carbônico (dióxido de carbono) soprado para dentro de um recipiente, cujo sistema segue para reagir com vinagre.

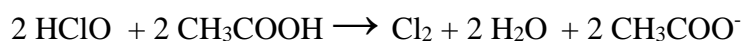
Ao longo da descrição das quatro etapas da atividade, o livro apresenta duas caixas de “dica de segurança” (expressão utilizada pela autora) que sinalizam a necessidade de cuidados em manusear as substâncias e recomendam que não sejam ingeridas. Apesar de o alerta demonstrar preocupação com a integridade física dos alunos e professores, a informação não esclarece quais os riscos envolvidos na ação e, com isto, deixa de justificar a importância de serem tomadas medidas de prevenção, o que poderia ser feito através de uma breve discussão sobre a toxicidade e reatividade destes compostos. Esta poderia ser uma oportunidade de se discutir a prevenção a acidentes domésticos, uma vez que a água sanitária é um produto de limpeza muito usual.

A água sanitária é um produto comercial que consiste em uma solução aquosa de hipoclorito de sódio (NaClO) estabilizada pela adição de cloreto de sódio (NaCl). O NaClO é uma substância capaz de causar irritação às membranas mucosas e aos olhos e produzir queimaduras severas à pele (MERCK, 2017c), a qual, em água, sofre hidrólise formando ácido hipocloroso (HClO) que, quando em contato com outros ácidos, compostos orgânicos ou produtos à base de amônia, reage formando produtos perigosos.

No caso dos ácidos, presentes em todos os tipos de refrigerantes, a mistura pode resultar na formação de gás cloro (Cl₂). Por este motivo, é importante estar atento e se preocupar com este subproduto, ainda que a reação não o forme em quantidade apreciável, uma vez que o cloro é um gás fortemente agressivo e irritante primário das vias respiratórias – uma breve inalação já pode causar lesões brônquicas, graves irritações e queimaduras aos olhos, vermelhidão e bolhas na pele (BRASKEM, 2005).

Este cuidado também deve ser tomado quando considerado que o experimento, em outra etapa, utiliza vinagre, que é uma solução aquosa de ácido acético (CH₃COOH) 4% a 6% v/v. Apesar do roteiro não indicar o preparo de uma mistura entre água sanitária e vinagre, a

associação indevida dessas substâncias pode acarretar prejuízos a saúde dos estudantes e professores. A formação do gás cloro pode ser observada na equação abaixo:



Esse risco pode ser minimizado se incluído nas dicas de segurança do experimento, alertando a todos sobre os perigos de misturar certas substâncias devido a toxicidade dos produtos que podem ser formados, em caso de reação química. Quanto ao uso de vinagre também se deve levar em conta que o produto pode causar irritação ao trato respiratório, aos olhos e a pele, em caso de contato prolongado (HEINIG, 2013). Como reagente para laboratório, uma solução de ácido acético 4% ou 5% v/v deve ser rotulada considerando, ainda, que o produto é cáustico mesmo na forma diluída (ANIDROL, 2015a, 2015b).

De maneira similar ao hipoclorito, o óxido de cálcio também pode provocar irritações, inflamações ou queimaduras quando inalado, em contato com a pele e olhos ou caso ingerido. Em água, como na etapa de preparação da água de cal, produz uma reação altamente exotérmica cujo produto é o hidróxido de cálcio, composto que pode causar irritações (pele, olhos e vias respiratórias) (ANIDROL, 2014) e que compõe o resíduo sólido gerado em uma das etapas do experimento (sólido retido em filtro).

Outro ponto importante, é apresentar a maneira correta, ou mais adequada possível, de manusear estas substâncias. Neste caso, como muitas escolas não possuem laboratório, poderia ser feita a recomendação de que este experimento seja realizado em local aberto, de boa ventilação e com uso de luvas, para evitar o contato dos produtos com a pele e o acúmulo da poeira de cal e do gás cloro no ambiente, o que também minimizaria os perigos decorrentes da inalação ou do contato dos produtos com os olhos.

Se tratando de um livro didático, é preciso considerar a impossibilidade de limitar a reprodução dos experimentos a sala de aula ou laboratório, pois o aluno retorna para casa com seu material e pode ter a curiosidade de repetir as atividades. Se o livro sugere uma prática, sobretudo priorizando materiais acessíveis, é fundamental que se certifique que a proposta possa ser repetida com segurança em ambientes sem a supervisão de um professor

O que se ressalta aqui é a importância do cuidado ao se propor e reproduzir um experimento de modo que seu alcance didático seja máximo. Desse modo, algumas medidas podem ser tomadas no sentido de prevenir acidentes sem inibir a autonomia do aluno, como trabalhar dicas de segurança mais abrangentes e de fácil compreensão ou, quando necessário,

modificar os roteiros a fim de substituir os elementos que podem provocar algum dano por materiais de menor ou nenhum risco – um dos objetivos da QV.

b) Experimento número 3 – Indicadores ácido-base

A prática trabalha o uso de indicadores naturais para determinar se um material é ácido, básico ou neutro. O indicador de interesse é o extrato de repolho roxo, mas outras substâncias são indicadas no texto: extrato alcoólico de flores de hibisco, extrato alcoólico de beterraba e fenolftaleína. Como descrito no roteiro da atividade, para preparar o extrato de repolho roxo é necessário o uso de um fogão (sugerido pela ideia de levar a mistura água e repolho roxo ao fogo para ferver) e para os extratos alcoólicos o uso de álcool etílico 92,8° GL.

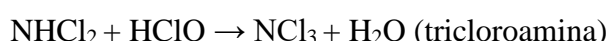
Com relação à segurança, o livro alerta para que o procedimento de preparo do extrato de repolho roxo seja feito apenas pelo professor, tomando extremo cuidado com o fogo e certificando-se de que não existam materiais inflamáveis por perto. O aviso se refere aos acidentes que podem ser provocados pela presença do fogo, como queimaduras ou princípios de incêndio.

O alerta é bastante pertinente e expressa a importância do professor como responsável pela condução do experimento. Poderia ser sugerido ao professor o preparo prévio do extrato, uma vez que levar o indicador pronto evitaria o uso do fogo em aula – o que, para escolas sem laboratório, teria que ser realizado em uma dependência possivelmente não apropriada para acomodar uma quantidade expressiva de alunos frente a esta etapa do roteiro. Existe a possibilidade de fazer o uso de mantas ou placas de aquecimento, caso disponíveis, pois estes equipamentos são fontes de calor sem chama aparente, ou, ainda, de indicar o preparo do extrato a temperatura ambiente, fazendo o uso de um liquidificador.

Uma vez que o indicador de repolho roxo está pronto, o procedimento segue para a parte de testagem de substâncias. Entre estas têm-se o vinagre branco, cujos riscos já foram discutidos, e o desinfetante com amoníaco, que é um produto de limpeza comum, porém prejudicial à saúde e a natureza. Produtos à base de amônia (NH_3) podem causar irritações e danos graves aos olhos e a pele, além de serem nocivos para os organismos aquáticos, com efeitos prolongados, representando risco de contaminação do ambiente em casos de vazamentos, derramamentos ou despejos inadequados – informação que pode ser encontrada na FISPQ do desinfetante “veja multi uso”, por exemplo (RECKITT BENCKISER BRASIL LDTA, 2016). Embora este último ponto pareça não ser aplicável a esta prática, pois o consumo

do produto é razoavelmente baixo, há sempre que se certificar de que todos os riscos foram analisados e, quando possível, minimizados.

Um segundo aspecto que precisa ser considerado quanto a presença do desinfetante com amoníaco (representado por NH_4^+ quando em água) é a sua incompatibilidade com outros compostos, neste caso, em específico, com a água sanitária do experimento dois, cuja mistura pode formar cloroaminas (MEYER, 1994):



Apesar de serem roteiros independentes e sem nenhuma obrigatoriedade ou indicação de que sejam realizados num mesmo momento, o risco está na proximidade entre eles, os quais estão localizados dentro de um mesmo tópico, em páginas sequenciais. A água sanitária também não pode ser misturada ao álcool etílico, pois pode formar clorofórmio e cloreto de hidrogênio, ou ao vinagre, como já mencionado. Em ambos os casos, as misturas dão origem a produtos tóxicos.

O álcool etílico 92,8° GL (92,8% v/v) é indicado para o preparo dos demais indicadores. Desde 2013, a ANVISA proibiu, via resolução publicada em Diário Oficial, a comercialização de álcool, em sua forma líquida, com teor acima de 54° GL (54% v/v) em estabelecimentos comuns, como supermercados e farmácias, por ser altamente inflamável (G1, 2013). Assim, torna-se inviável a sugestão do produto nesta concentração, especialmente para ser manipulado pelos alunos, como sugere o item 2 do tópico “investigue”. Neste caso, parece oportuno refletir sobre a viabilidade do experimento sugerido. Como já foi visto, as dicas de segurança precisam ser claras e abrangentes o suficiente para dar suporte à execução da prática dentro ou fora do ambiente escolar como, por exemplo, na residência do estudante. Neste caso, o alerta presente na atividade atende apenas aos cuidados necessários no preparo do indicador de repolho roxo, que envolve chama.

Ao refletir sobre a atividade como um todo, entende-se que é necessário avaliar se a proposta de roteiros que lidem com fogo e álcool, num mesmo experimento, ainda que em momentos diferentes, pode ser cumprida com garantia de segurança. Uma medida possível é a simplificação da atividade, reduzindo o número de indicadores ou modificando-os de modo a não trabalhar com materiais incompatíveis entre as partes. Outra opção seria transpor o experimento do capítulo 3 para o 18, que, além de tratar dos compostos inorgânicos (ácidos,

bases, sais e óxidos), é o penúltimo capítulo do livro e, portanto, estudado próximo ao fechamento do ano letivo, quando se espera que o aluno já tenha adquirido mais maturidade e entenda a importância das medidas de segurança.

c) Experimento número 4 – Combustão na balança de pratos

Este é um experimento simples no qual se pode visualizar o ganho ou a perda de massa ao se queimar um pedaço de papel ou palha de aço numa balança de pratos. O livro do professor contém as instruções para a construção da balança com materiais acessíveis, como pratos de alumínio ou papelão e arame. Uma vez que o aluno não tem acesso a este tutorial, poderia haver uma nota com a possibilidade de substituição da balança de papel por uma digital, como as utilizadas para pesar alimentos.

Assim como na prática anterior, essa também faz uso de fogo e, por isto, recomenda que os alunos apenas façam observações e proponham explicações para o que foi observado, devendo o professor conduzir a atividade. Como não foram identificadas outras possíveis ameaças, este aviso parece suficiente para prevenir acidentes e garantir a segurança de todos os envolvidos, não havendo o que complementar neste caso.

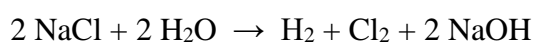
d) Experimento número 5 – Eletrólise da água

O experimento cinco é uma eletrólise aquosa do sulfato de sódio (Na_2SO_4), reação que produz os gases hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2) devido a passagem de corrente elétrica. Nesta atividade, existem três aspectos a serem pensados quanto à segurança: o uso do sal sulfato de sódio, a produção de gás hidrogênio e o fogo – utilizado para testar a presença dos gases formados. Para dois dos casos a prática inclui recomendações: para o sal, apresenta algumas características físico-químicas do produto e discute sua toxicidade – toxicidade média quando ingerido, não irrita a pele, irrita às narinas e olhos quando em grandes concentrações – e aplicações na indústria; e para a chama, as mesmas orientações vistas nos experimentos anteriores (3 e 4).

As dicas de segurança apresentadas nesta atividade demonstram a preocupação em reduzir as ameaças, conscientizando os envolvidos quanto aos efeitos latentes do sulfato de sódio a saúde, que não é considerado como perigoso em pequenas quantidades e dispensa maior detalhamento, e aos cuidados a serem tomados ao manusear o fogo, mas não apresentam recomendações sobre o gás hidrogênio, que é asfixiante e extremamente inflamável, podendo provocar explosões em contato com fontes de calor. Ainda que a eletrólise não produza o gás

em grande quantidade, é importante que as orientações incluam todos os riscos envolvidos na prática, sempre que possível.

Segundo o livro, o intuito é sempre trabalhar com materiais do dia a dia. Como o sulfato de sódio não é de uso comum, o item 3 do tópico “investigue” pede que o aluno explique o porquê de utilizá-lo ao invés de fazer uso do cloreto de sódio (NaCl – sal de cozinha). Assim, como sugere o comando da questão, é preciso repetir o experimento substituindo um sal pelo outro e, então, propor explicações a partir do que for observado. Nesse momento, é preciso considerar que a atividade não foca na discussão da teoria e das equações químicas envolvidas e que, portanto, não menciona que a eletrólise aquosa do cloreto de sódio tem como um dos produtos o gás cloro, que é altamente tóxico e pode provocar efeitos adversos à saúde humana:



A provável intenção de que o aluno explore o fenômeno ao invés de apenas comprovar uma teoria previamente apresentada pode ser muito enriquecedora, mas é necessário se certificar que os riscos são baixos ou inexistentes. Neste caso, parece oportuno complementar as dicas de segurança ou, não havendo prejuízos a compreensão do estudante, repensar a proposta de repetição do experimento com NaCl.

e) Experimento número 10 – Crescimento de cristais

O último experimento do livro corresponde a uma prática aparentemente simples: pedras do tipo brita imersas em ácido acético com objetivo de formar cristais (solubilização do carbonato duplo de cálcio e magnésio presente nas pedras com posterior evaporação do líquido, dando origem a cristais de acetato de cálcio e de magnésio). Neste caso, a única adequação a ser feita, no tocante a segurança, é a inserção de uma nota com informações sobre os riscos da manipulação de vinagre, a exemplo dos efeitos descritos na segunda atividade.

5.2.2 Avaliação da preocupação com o tratamento de resíduos químicos

O Quadro 12 (próxima página) apresenta os resultados observados para a segunda parte do roteiro previamente estabelecido, retratando apenas os experimentos que respondem positivamente às questões relacionadas ao descarte e tratamento de resíduos.

Quadro 12 – Resultados da segunda parte do roteiro para análise da verdura química dos experimentos.

Informações sobre resíduos	
Itens analisados no roteiro	Experimento com resposta positiva (sim)
O experimento gera algum tipo de resíduo que necessite de tratamento?	2, 5, 7 e 8
O experimento apresenta informações sobre descarte e/ou tratamento adequado do(s) resíduo(s) gerado(s)?	2 e 5
O experimento apresenta informações sobre possíveis impactos do(s) resíduo(s) ao meio ambiente?	Nenhuma indicação

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Os dados acima indicam que quatro experimentos geram algum tipo de resíduo que precisa ser descartado e/ou tratado de maneira correta. Contudo, como pode ser observado, apenas duas das atividades incluem informações sobre o assunto e nenhuma menciona a possibilidade de impacto ao meio ambiente. Todos estes aspectos seguem discutidos a seguir.

a) Experimento número 2 – Indícios de transformações químicas

Durante a execução das etapas do experimento são formadas algumas misturas que precisam ser adequadamente descartadas e discutidas quanto ao seu tratamento: parte 1 – refrigerante de laranja + hipoclorito de sódio (água sanitária); parte 2 – cal hidratada (sólido retido em filtro); parte 4 – carbonato de cálcio + vinagre. Sobre as composições finais, a atividade apresenta duas notas de “descarte de rejeitos” (expressão utilizada pela autora): uma informa que a cal hidratada pode ser encaminhada ao aterro sanitário através do descarte em lixo comum e, a outra, que o líquido obtido após a etapa 4 pode ser destinado a rede de esgoto (jogado na pia).

A primeira parte do experimento trabalha com hipoclorito de sódio (água sanitária), mas não comenta o que deve ser feito com a solução resultante no caso dessa ser adicionada em excesso. O hipoclorito de sódio é altamente alcalino e, entre os problemas gerados ao ser despejado diretamente na pia, está a possibilidade de o produto chegar ao solo e atingir suas camadas subterrâneas ou chegar a rios e cursos d'água, afetando-os devido a alteração do pH e ação do cloro ativo, sendo altamente tóxico para organismos aquáticos (MERCK, 2017c). Segundo a ANVISA, a água sanitária é uma solução aquosa de hipoclorito de sódio ou de cálcio, com teor de cloro ativo entre 2,0 e 2,5% p/p (3,9% e 5,6% p/p quando concentrado) e, para não afetar o ambiente, só pode ser descartada após estar bem diluída e sua embalagem lavada com água em abundância, não podendo ser reutilizada para armazenar outros materiais (BRASIL,

2016a) – reuso que é muito comum nas residências, o que reforça a importância do aluno estar informado a respeito da segurança química.

No que tange a parte dois, ao contrário do que indica o livro, não é apropriado que o resíduo de cal hidratada (hidróxido de cálcio) seja descartado diretamente em lixo comum, porque pode afetar o pH do solo e de águas caso chegue até estes, sendo muito tóxico para os organismos aquáticos (ANIDROL, 2014).

O último resíduo a ser pensado diz respeito ao produto da reação da parte quatro, uma solução aquosa de acetato de cálcio. As pesquisas apontam que esta substância não apresenta riscos consideráveis a saúde ou ao ambiente, sendo esta solução passível de descarte na pia, após diluição. Desse modo, a nota trazida no roteiro experimental parece adequada, apenas precisa ser acrescida da recomendação de diluir a mistura antes da destinação final. Apesar de serem formadas baixas quantidades de resíduos, todos os casos precisam ser debatidos a fim de conscientizar o aluno quanto a importância do descarte e tratamento adequado daquele material que ele não fará mais uso, sobretudo no que diz respeito aos efeitos ambientais.

b) Experimento número 5 – Eletrólise da água

Nesta prática é apresentada uma nota sobre o descarte de seus materiais, a qual informa que a solução de sulfato de sódio pode ser descartada diretamente na pia e que a bateria, por possuir componentes tóxicos e poluentes, deve ser destinada a postos de coleta especializados (após ter sua carga esgotada) para ser devolvida ao fabricante e, posteriormente, reciclada. Como não foram encontradas recomendações específicas quanto o descarte da solução de sulfato de sódio nem possíveis prejuízos da substância ao meio ambiente, não há o que se acrescentar a respeito do seu despejo diretamente no ralo, a princípio. Por outro lado, apesar do alerta quanto ao descarte adequado da bateria, a informação não esclarece os impactos que o material pode provocar ao ambiente e a saúde humana se jogado em lixo comum, o que poderia ser apresentado ou sugerido como pesquisa no tópico “investigue”.

Cabe ressaltar que não existe menção a produção de hidróxido de sódio (NaOH) como resíduo da repetição do experimento com cloreto de sódio. O NaOH é uma base forte cuja solução não pode ser descartada nas redes de esgoto sem tratamento prévio, isto porque a substância é classificada como perigosa para o ambiente, podendo provocar a alteração do pH, formando misturas cáusticas com a água mesmo após diluição, além de ser potencialmente corrosiva a metais e a pele humana (MERCK, 2017b). Como o resíduo possui potencial

agressivo ao ambiente, seria de grande valia mencioná-lo no tópico “descarte de rejeitos”, descrito no roteiro.

c) Experimento número 7 – Eletrólitos e não eletrólitos

Esta atividade estuda como se dá a condução de corrente elétrica a partir de sólidos e soluções aquosas. Acredita-se que o experimento não faça nenhuma menção ao descarte de resíduos, pois utiliza apenas água, sal de cozinha e açúcar e, como as substâncias não conferem riscos ao meio ambiente, podem ser descartadas em lixo comum ou na pia, quando em solução. Neste caso, o que precisa ser discutido é o uso de uma bateria para criar o circuito elétrico. Como visto, a informação sobre o descarte deste material foi apresentada no experimento cinco, mas poderia ser retomada neste momento, brevemente, a fim de reafirmar sua valia, especialmente porque estes objetos são de uso comum e cotidiano, não havendo o que se acrescentar além disto.

d) Experimento número 8 – Polaridade e solubilidade

O experimento tem como objetivo estabelecer a relação entre a polaridade de uma substância e sua solubilidade em diferentes meios. Assim como na atividade anterior, não existem orientações sobre descarte dos materiais em uso, possivelmente por se tratar de compostos comuns, como água, óleo de cozinha e detergente, em quantidades pequenas. Dentre as discussões que podem ser geradas a partir desta atividade está a possibilidade de o óleo de cozinha ser reciclado e servir como matéria-prima na fabricação de outros produtos, refletindo, novamente, sobre a importância da economia circular e dos erros da sustentabilidade na prática diária.

Embora o óleo proveniente do experimento não tenha seu uso associado ao preparo de alimentos, como é comum em casas e restaurantes, seria interessante que o livro trouxesse informações a respeito do que pode ser feito com a substância, pois seu resíduo representa um grande risco ambiental. Quando despejado de maneira incorreta, o óleo pode poluir o meio aquático, causar danos aos sistemas de tratamento de água e esgoto e aumentar as áreas dos aterros sanitários, por esta razão, o óleo deve ser descartado corretamente e uma das soluções é armazenar o produto em garrafas plásticas limpas e entregá-las a associações que façam sua reciclagem.

5.2.3 Construção das matrizes verdes

Como visto, a matriz verde (MV) é uma métrica holística que utiliza a análise SWOT para avaliar o grau de verdura química de um experimento. Este método foi utilizado para nove dos dez experimentos encontrados na obra, sendo considerados apenas os princípios P1, P5, P6, P7, P10 e P12 (análises sem síntese). A prática de número seis foi desconsiderada, pois esta trabalha a relação de massas sem fazer uso de reagentes químicos (os materiais incluem balança de pratos, palitos de dente, cotonetes, cliques de papel e grampos de cabelo).

Além disso, cabe ressaltar alguns pontos: nenhuma das matrizes inclui os critérios sete e quatorze entre as variáveis internas, pois os roteiros não fazem uso de água em resfriamentos ou banhos nem mencionam os equipamentos em questão; apenas as matrizes do terceiro e décimo experimento levam em conta o critério oito, devido à presença de outros solventes além da água; a ausência de outros critérios pode ocorrer em função da prática em análise (o que será descrito, quando necessário); e todos os roteiros utilizam materiais alternativos e favorecem a contextualização. O Quadro 13 apresenta a MV da primeira atividade.

**Quadro 13 – Matriz Verde do experimento número 1
(Densidade e correntes de convecção).**

Pontos Fortes	Pontos Fracos
1. Reagentes sem indicação de risco físico; 2. Reagentes sem indicação de risco à saúde; 3. Reagentes sem indicação de risco ao ambiente; 4. Não há geração de resíduos ou estes são inócuos; 5. Dispensa o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos; 11. Utiliza substâncias que podem ser reutilizadas ou recicladas após o uso; 13. Reagentes sem indicação de risco físico e/ou à saúde; 15. Materiais de riscos baixos ou moderados; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	6. Alto consumo de água; 9. Pressão ou temperatura diferentes da do ambiente; 10. Não utiliza substâncias renováveis; 12. Pelo menos uma dos reagentes não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição.
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> - Diminuir a quantidade de água utilizada como solvente; - Reduzir o consumo de energia optando por procedimentos em condições ambientes; - Substituir substâncias não renováveis e não degradáveis (corante artificial) por substâncias renováveis e degradáveis à produtos inócuos (corante natural). 	<ul style="list-style-type: none"> - Impossibilidade de reduzir o consumo de água ao volume total de 50 mL; - Impossibilidade de reduzir o consumo de energia, pois poderia afetar a compreensão do experimento.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Como pode ser observado acima, a primeira prática atende plenamente aos princípios P1 e P12, mas parcialmente a P5, P6, P7 e P10. Entretanto, se atendidas as oportunidades, é

possível aumentar o grau de verdura química do experimento e, assim, contemplar P7 e P10 em sua totalidade. Os corantes naturais podem ser extraídos de uma grande variedade de fontes: frutas, vegetais, especiarias, entre outras. Sua cor vai depender da matéria-prima escolhida e do modo de preparo.

Uma rápida pesquisa na internet já revela diferentes possibilidades de corantes com base em produtos naturais. Nos sites “GreenMe!” (2018) e “GShow” (2015) podem ser encontradas diferentes receitas de fácil preparo. Um exemplo é o corante laranja que pode ser obtido a partir de cenouras (betacaroteno): basta bater o vegetal no liquidificador com um pouco de água, coar e levar a fogo baixo para intensificar a cor. Apesar do preparo aumentar o consumo de água e inserir equipamentos vulgares com potencial de risco elevado – se utilizado uma fonte de aquecimento com chama aparente, por exemplo –, a substituição do corante artificial aumenta o número de princípios atendidos: de 10 para 12, se o critério 15 puder ser cumprido como ponto positivo; de 10 para 11 se o critério 15 representar um ponto negativo; favorecendo a verdura química do experimento.

Os critérios de P5 e P6 são considerados uma ameaça devido à ausência de alternativas viáveis ao uso de gelo e a impossibilidade de diminuir o volume total de água ao máximo de 50 mL, conforme previsto no critério seis para o ponto positivo. O fenômeno de correntes de convecção poderia ser demonstrado através do uso de água quente no lugar da solução salina descrita no roteiro, porém a opção manteria o gasto de energia e poderia elevar o risco de acidentes, tal como no preparo do corante natural, em virtude da necessidade de aquecimento. Além disso, a alternativa não seria suficiente para minimizar o consumo de água ao limite estabelecido, pois seria impraticável aquecer uma quantidade tão reduzida de água e ainda ter outro recipiente contendo o mesmo volume à temperatura ambiente.

Frente a isto, parece mais adequado diminuir o volume de água sugerido no preparo do gelo, de 50 mL por copo à quantidade necessária para formar um cubinho em uma forma comum, além de estabelecer o volume exato para os recipientes contendo água pura e solução salina, priorizando a quantidade mínima necessária a visualização do fenômeno. Desse modo, seria possível reduzir o consumo de água, nesta etapa, sem inviabilizar o experimento.

O segundo experimento tem sua matriz indicada no Quadro 14 (próxima página), onde se observa que P6 e P10 foram atendidos integralmente enquanto P1, P5, P7 e P12 cumprem apenas com alguns de seus critérios. Das oportunidades que surgem, em função dos pontos fracos, somente a substituição da cal virgem e a redução da quantidade de água representam uma ameaça.

**Quadro 14 – Matriz Verde do experimento número 2
(Indícios de transformações químicas).**

Pontos Fortes	Pontos Fracos
1. Reagentes sem indicação de risco físico; 5. Dispensa o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos; 9. Pressão e temperatura ambientes; 12. Todos os reagentes usados são degradáveis; 15. Materiais de riscos baixos ou moderados; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	2. Reagentes com indicação de risco à saúde; 3. Reagentes com indicação de risco ao ambiente; 4. Há geração de resíduos que representam perigo à saúde ou ambiente; 6. Alto consumo de água; 10. Não utiliza substâncias renováveis; 11. Não utiliza substâncias que podem ser reutilizadas ou recicladas após o uso; 13. Reagentes com indicação de risco físico e/ou à saúde.
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> - Substituir substâncias com indicação de riscos físico, à saúde e/ou ao ambiente (NaClO, CaO e vinagre) por substâncias que ofereçam menor ou nenhum risco; - Armazenar o resíduo (hidróxido de cálcio) para que possa ser reutilizado em outros experimentos ou diminuir a quantidade de cal virgem inicial que leva a sua formação; - Diminuir a quantidade de água como solvente; - Substituir substâncias não reutilizáveis ou recicláveis por substâncias que possam ser reutilizadas ou recicladas após o uso; - Substituir substâncias não renováveis por substâncias renováveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade em substituir a cal virgem por outro reagente que não represente riscos maiores; - Dificuldade em reduzir o consumo de água ao volume total de 50 mL.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O procedimento com o hipoclorito de sódio é proposto com o intuito de descolorir um refrigerante de laranja e, com isso, atestar que a mudança de cor é um indício de transformação química. Uma alternativa é substituí-lo pelo processo de oxidação natural de alguns alimentos (maçã, banana, pêra e batata), que ao serem cortados entram em contato com o oxigênio do ar e sofrem um escurecimento enzimático (polifenoloxidase que atua sobre compostos fenólicos formando melanina). Água a temperatura ambiente, limão e açúcar podem inibir esta oxidação, pois são capazes de protegerem a superfície da polpa do contato com o oxigênio do ar, além de possuírem, em sua composição, substâncias antioxidantes (ácido ascórbico no limão; sacarose no açúcar).

O experimento comparativo é fácil de ser realizado e envolve apenas produtos naturais, os quais podem ser reaproveitados na alimentação, especialmente no caso dos que foram protegidos da oxidação, ou encaminhados para compostagem após o experimento. O único risco identificado é a necessidade de uma faca para fazer o corte dos alimentos, porém o objeto atende positivamente ao critério 15 e pode ter seu perigo minimizado com a inclusão de um alerta quanto a importância de que seu manuseio seja feito por um adulto.

Como visto na MV, não foram encontrados substitutos para a cal virgem que não somasse riscos semelhantes ou maiores, tendo em vista toda a sua aplicabilidade no roteiro, neste caso, no preparo da água de cal necessária as etapas de formação de precipitado e de produto gasoso. Há a possibilidade de fazer uso da mistura bicarbonato de sódio e água para formar gás carbônico, pois o sal tem menor potencial agressivo quando comparado ao óxido de cálcio e dispensaria o uso de vinagre, mas isto não parece suficiente para tornar a cal dispensável a etapa de formação de precipitado. Um exemplo de reação que forma produto pouco solúvel é a que ocorre entre o cloreto de sódio (sal de cozinha) e uma solução de nitrato de prata (antimicótico), da qual precipita cloreto de prata. No entanto, as rotulagens da solução e do produto formado indicam que ambas as substâncias representam riscos elevados a saúde e ao ambiente por serem potencialmente corrosivas e muito tóxicas para o meio aquático, além do nitrato de prata ser comburente (MERCK, 2017a, 2018).

No que diz respeito a quantidade de água, a redução a 50 mL (volume máximo para atender positivamente ao critério seis) pode comprometer o preparado de água de cal em quantidade suficiente para as práticas dois e três. É uma vantagem reduzir sua quantidade para evitar desperdícios, porém não parece adequado tentar diminuir ao ponto de atender positivamente o critério seis, já que pode dificultar o desenvolvimento. Assim, é viável reduzir o consumo de água, mas a oportunidade acaba sendo uma ameaça por não alcançar o limite estabelecido pela MV.

O Quadro 15 apresenta a MV do experimento três, que cumpre plenamente os princípios P7 e P10 e parcialmente P1, não respondendo positivamente a nenhum dos critérios de análise (entre os aplicáveis) dos princípios P5, P6 e P12.

Quadro 15 – Matriz Verde do experimento número 3 (Indicadores ácido-base).

Pontos Fortes	Pontos Fracos
4. Não há geração de resíduo ou estes são inócuos; 10. Utiliza substâncias renováveis; 11. Utiliza substâncias que podem ser reutilizadas ou recicladas após o uso; 12. Todos os reagentes usados são degradáveis; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	1. Reagentes com indicação de risco físico; 2. Reagentes com indicação de risco à saúde; 3. Reagentes com indicação de risco ao ambiente; 5. Os solventes e/ou os auxiliares representam perigo à saúde ou ambiente; 6. Alto consumo de água; 8. Alto consumo de outros solventes além da água; 9. Pressão ou temperatura diferentes da do ambiente; 13. Reagentes com indicação de risco físico e/ou à saúde; 15. Riscos elevados de acidente devido ao uso de certos equipamentos.

Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> - Substituir ou eliminar substâncias com indicação de riscos físico, à saúde e/ou ao ambiente (álcool etílico 92,8 °GL, vinagre branco e desinfetante com amoníaco) por substâncias que ofereçam menor ou nenhum risco; - Reduzir ou eliminar o uso de álcool etílico 92,8 °GL como solvente; - Diminuir a quantidade de água como solvente; - Reduzir o consumo de energia optando por procedimentos em condições ambientes; - Substituir equipamentos ou materiais que representam riscos elevados de acidentes por outros com riscos mais baixos (placas ou mantas de aquecimento ao invés de um fogão a gás, por exemplo). 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade em reduzir o consumo de água, porque pode afetar o preparado do extrato de repolho roxo; - Nem todas as instituições de ensino possuem equipamentos como placas ou mantas de aquecimento.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A MV do experimento três revela muitos pontos negativos. Como já foi visto, o roteiro descreve o modo de preparo de três indicadores ácido-base, dos quais dois fazem uso de álcool etílico 92,8 °GL. Por ser altamente inflamável, o álcool oferece risco físico elevado e poderia ser retirado do procedimento sem afetar a compreensão do aluno acerca da função de um indicador, bem como do caráter ácido, básico ou neutro de um material, porque isto significaria apenas uma simplificação da atividade.

O mesmo pode ser feito em relação ao desinfetante com amoníaco, que possui componentes com risco a saúde e ao ambiente, uma vez que sua presença tem como objetivo atestar a cor do indicador de repolho roxo frente a uma solução de caráter básico acentuado, o que já seria possível pelo reaproveitamento da água de cal do experimento dois, pois o hidróxido de cálcio é uma base forte e ambas as soluções resultam na cor verde-amarelada (resposta fornecida pelo manual do professor). Esta oportunidade de retirada de substâncias com indicação de risco também se aplica ao vinagre branco, pois seu teste de pH gera uma coloração rosada, tal como o refrigerante tipo soda, que também faz parte do roteiro, e o suco de limão, que é sugerido como teste extra, por exemplo.

Outra oportunidade é dar preferência a fontes de aquecimento sem chama aparente durante o preparo do extrato de repolho roxo, a exemplo de placas ou mantas de aquecimento ao invés de um fogão a gás, uma vez que a escola tenha estes equipamentos. Neste caso, a substituição não eliminaria o risco por completo, mas minimizaria os efeitos perigosos, visto que não haveria proximidade com fontes de gás ou chama. Também poderia ser feito o uso de um liquidificador, optando por realizar o procedimento a temperatura ambiente. Em ambos os

casos, o volume de água não poderia ser reduzido a 50mL sem, muito provavelmente, inviabilizar o preparo do indicador em quantidade apreciável para realizar todos os testes.

Para o experimento de combustão na balança de pratos, a MV (Quadro 16) não considera os critérios referentes a P5, porque a atividade dispensa o uso de solventes, incluindo a água. Dos demais, apenas P6 e P10 geram pontos negativos, para os quais não foram encontradas alternativas de melhoria, visto que não seria possível provocar a combustão do papel e da palha de aço sem consumir a energia oriunda de uma chama, assim como reaproveitar ou reciclar estes materiais após terem sido queimados.

Quadro 16 – Matriz Verde do experimento número 4 (Combustão na balança de pratos).

Pontos Fortes	Pontos Fracos
1. Reagentes sem indicação de risco físico; 2. Reagentes sem indicação de risco à saúde; 3. Reagentes sem indicação de risco ao ambiente; 4. Não há geração de resíduos ou estes são inócuos; 10. Utiliza substâncias renováveis; 12. Todos os reagentes usados são degradáveis; 13. Reagentes sem indicação de risco físico e/ou à saúde; 15. Materiais de riscos baixos ou moderados; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	9. Pressão ou temperatura diferentes da do ambiente; 11. Não se utiliza substâncias que possam ser reutilizadas ou recicladas após o uso.
Oportunidades	Ameaças
- Reduzir o consumo de energia optando por procedimentos em condições ambientes; - Substituir substâncias não reutilizáveis ou recicláveis por substâncias que possam ser reutilizadas ou recicladas após o uso.	- Não é possível trabalhar a temperatura ambiente tampouco reaproveitar ou reciclar os resíduos (papel e palha de aço queimados), pois se trata de um experimento de combustão.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A prática de número cinco tem sua matriz indicada no Quadro 17, onde se observa que P7 e P10 foram atendidos integralmente enquanto P1, P5, P6 e P12 cumprem apenas com alguns de seus critérios.

Quadro 17 – Matriz Verde do experimento número 5 (Eletrólise da água).

Pontos Fortes	Pontos Fracos
1. Reagentes sem indicação de risco físico; 3. Reagentes sem indicação de risco ao ambiente; 5. Dispensa o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos; 10. Utiliza substâncias renováveis; 11. Utiliza substâncias que podem ser reutilizadas ou recicladas após o uso; 12. Todos os reagentes usados são degradáveis; 15. Materiais de riscos baixos ou moderados; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	2. Reagentes com indicação de risco à saúde; 4. Há geração de resíduos que representam perigo à saúde ou ambiente; 6. Alto consumo de água; 9. Pressão ou temperatura diferentes da do ambiente; 13. Reagentes com indicação de risco físico e/ou à saúde.

Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> - Substituir o sulfato de sódio (risco à saúde) por substâncias que ofereçam menor ou nenhum risco; - Armazenar o resíduo para que possa ser reutilizado em outros experimentos; - Diminuir a quantidade de água como solvente; - Reduzir o consumo de energia optando por procedimentos em condições ambientes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade em reduzir o consumo de água ao volume total de 50 mL; - Impossibilidade de realizar o procedimento a temperatura ambiente sem suprimir os testes demonstrativos para o reconhecimento dos gases hidrogênio e oxigênio.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A oportunidade referente ao sulfato de sódio se deve ao fato de o livro didático informar no roteiro da atividade que o sal pode provocar efeitos deletérios aos olhos, narinas e a pele. Uma alternativa para substituí-lo é fazer uso de bicarbonato de sódio (NaHCO_3), que é um reagente de mais fácil acesso e, aparentemente, com menor potencial de risco, quando comparadas as informações toxicológicas fornecidas pelo livro com a FISPQ do NaHCO_3 (ANIDROL, 2013). No entanto, alguns pontos precisam ser considerados com cautela: a hidrólise salina do bicarbonato de sódio, que ocorreria naturalmente ao dissolver o sal em água, produz hidróxido de sódio como resíduo perigoso ao ambiente; a substância não pode ser reciclada após a eletrólise, diferentemente da solução de sulfato de sódio que pode ser destilada para recuperar o sal; e a troca não é capaz de frear o gasto de energia, pois o teste com fogo é direcionado aos gases produzidos na eletrólise da água.

Nota-se que a substituição beneficia a matriz no que diz respeito aos critérios dois e treze, mas a prejudica quanto ao onze, além de acentuar a formação de resíduo perigoso, o qual pode ser armazenado para ser reaproveitado em outro momento, conforme a oportunidade presente na matriz devido a proposta de repetição do experimento com cloreto de sódio

Embora o consumo excessivo de água possa ser reduzido, independentemente da substituição, parece difícil atender ao limite estabelecido pelo critério seis, pois tanto a forma como o sistema é montado quanto a repetição com o cloreto de sódio sugerem a necessidade de se utilizar um volume total de água superior a 50 mL. Neste caso, a retirada do sal poderia contribuir para uma maior redução da quantidade de água, além de eliminar a exposição dos alunos ao gás cloro; supressão que não afetaria o entendimento do processo de eletrólise da água, como objetiva o experimento.

O sétimo experimento tem sua matriz indicada no Quadro 18 (próxima página), onde se observa que todos os princípios foram atendidos em sua totalidade, com exceção de P5.

Quadro 18 – Matriz Verde do experimento número 7 (Eletrólitos e não eletrólitos).

Pontos Fortes	Pontos Fracos
1. Reagentes sem indicação de risco físico; 2. Reagentes sem indicação de risco à saúde; 3. Reagentes sem indicação de risco ao ambiente; 4. Não há geração de resíduos ou estes são inócuos; 5. Dispensa o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos; 9. Pressão e temperatura ambientes; 10. Utiliza substâncias renováveis; 11. Utiliza substâncias que podem ser reutilizadas ou recicladas após o uso; 12. Todos os reagentes usados são degradáveis; 13. Reagentes sem indicação de risco físico e/ou à saúde; 15. Materiais de riscos baixos ou moderados; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	6. Alto consumo de água.
Oportunidades	Ameaças
- Diminuir a quantidade de água como solvente.	- Dificuldade em reduzir o consumo de água ao volume total de 50 mL.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O elevado consumo de água se deve a realização de dois testes de condutividade elétrica com 100 mL de água cada, além do uso de quantidades não especificadas em outros dois testes. Para que o experimento funcione corretamente é preciso que os eletrodos de fios rígidos (parte do circuito elétrico montado) fiquem imersos no líquido, em paralelo. Embora seja possível diminuir a quantidade de água consumida em cada teste à metade, por exemplo, é inviável reduzi-la ao máximo de 50 mL, ao todo, quando considerado o número de repetições. No entanto, como já mencionado, baixar o consumo de água de maneira significativa é sempre benéfico ao ambiente e deve ser visto como uma vantagem, ainda que não seja capaz de cumprir com o volume que seria entendido como ponto positivo do critério seis.

A MV do experimento número oito (Quadro 19, próxima página) transparece como a prática atende perfeitamente aos princípios P5, P6, P7, P10 e P12, estando apenas em desacordo com os critérios de P1. Neste caso, os pontos negativos se referem ao uso de óleo de cozinha, que é um composto inflamável e que não pode ser despejado diretamente no ambiente em virtude de seus prejuízos ao ecossistema. Por outro lado, como objetivo da prática é demonstrar que a diferença de polaridade entre óleo e água impede que as substâncias se misturem, mas que a solubilização pode ocorrer pela presença de detergente (ação emulsificante), a mistura final pode ser encaminhada a reciclagem. Assim, não parece necessário substituir o óleo por outro material de caráter apolar, sobretudo porque este teria que ser mais vantajoso, tendo em vista a MV (o que não ocorreria no caso de optar por gasolina, por exemplo).

Quadro 19 – Matriz Verde do experimento número 8 (Polaridade e solubilidade).

Pontos Fortes	Pontos Fracos
2. Reagentes sem indicação de risco à saúde; 5. Dispensa o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos; 6. Baixo consumo de água. 9. Pressão e temperatura ambientes; 10. Utiliza substâncias renováveis; 10. Utiliza substâncias renováveis; 11. Utiliza substâncias que podem ser reutilizadas ou recicladas após o uso; 12. Todos os reagentes usados são degradáveis; 13. Substâncias sem indicação de risco físico e/ou à saúde; 15. Materiais de riscos baixos ou moderados; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	1. Reagente com indicação de risco físico; 3. Reagentes com indicação de risco ao ambiente; 4. Há geração de resíduos que representam perigo à saúde ou ambiente.
Oportunidades	Ameaças
- Encaminhar o resíduo para a reciclagem.	- Não identificadas.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Para a prática nove observa-se uma MV idêntica à do sétimo experimento, na qual se tem o cumprimento de todos os princípios, menos P5, devido ao elevado consumo de água como solvente, conforme revela o Quadro 20.

Quadro 20 – Matriz Verde do experimento número 9 (Bolhas mais resistentes).

Pontos Fortes	Pontos Fracos
1. Reagentes sem indicação de risco físico; 2. Reagentes sem indicação de risco à saúde; 3. Reagentes sem indicação de risco ao ambiente; 4. Não há geração de resíduos ou estes são inócuos; 5. Dispensa o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos; 9. Pressão e temperatura ambientes; 10. Utiliza substâncias renováveis; 12. Todos os reagentes usados são degradáveis; 13. Reagentes sem indicação de risco físico e/ou à saúde; 15. Materiais de riscos baixos ou moderados; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	6. Alto consumo de água.
Oportunidades	Ameaças
- Diminuir a quantidade de água como solvente.	- Não identificadas.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Neste procedimento, o alto consumo de água está relacionado a uma mistura de detergente, água e xarope de milho para produzir bolhas de sabão mais resistentes. O roteiro deixa claro que a mistura deve ser preparada conforme o tamanho do recipiente e em quantidade

desejada pelo aluno, desde que respeitada a proporção de 100 mL, 100 mL e 50 mL dos componentes citados, respectivamente, e a capacidade de mergulhar o aro (feito com arame) no líquido final. Como o volume a ser utilizado não foi especificado, o ajuste sugerido se direciona a proporção das substâncias que pode ser indicada como 50:50:25, por exemplo, sem prejuízos ao efeito esperado.

A próxima MV se refere a última atividade experimental do livro didático, a qual se destina ao estudo de crescimento de cristais salinos. Esta matriz não considera o critério seis porque o roteiro proposto dispensa o uso de a água. Dos demais, apenas P6 não gera pontos negativos, conforme mostra o Quadro 21.

Quadro 21 – Matriz Verde do experimento número 10 (Crescimento de cristais).

Pontos Fortes	Pontos Fracos
1. Reagentes sem indicação de risco físico; 4. Não há geração de resíduos ou estes são inócuos; 9. Pressão e temperatura ambientes; 15. Materiais de riscos baixos ou moderados; 16. Utiliza materiais do cotidiano; 17. Favorece a contextualização.	2. Reagentes com indicação de risco à saúde; 3. Reagentes com indicação de risco ao ambiente; 5. Os solventes e/ou os auxiliares representam perigo à saúde ou ambiente; 8. Alto consumo de outros solventes além da água; 10. Não utiliza substâncias renováveis; 11. Não se utiliza substâncias que possam ser reutilizadas ou recicladas após o uso; 12. Pelo menos uma dos reagentes não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição; 13. Reagentes com indicação de risco físico e/ou à saúde.
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> - Substituir o vinagre (risco à saúde e ao ambiente) por substâncias que ofereçam menor ou nenhum risco; - Substituir substâncias não reutilizáveis ou recicláveis por substâncias que possam ser reutilizadas ou recicladas após o uso; - Substituir substâncias não renováveis e não degradáveis (corante artificial) por substâncias renováveis e degradáveis à produtos inócuos (corante natural). 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade em substituir o vinagre por outro reagente ácido que não represente riscos maiores ou outra substância que possa ser reaproveitada ou reciclada após o uso.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Como discutido anteriormente, o vinagre é uma solução ácida com potencial de risco físico e ao ambiente. No entanto, não foram encontradas alternativas seguras para substituir o composto sem gerar prejuízos ao objetivo da prática, diferentemente dos corantes alimentícios que podem ser substituídos por corantes a base de produtos naturais, conforme descrito na primeira MV. Como o volume de solvente não foi estabelecido, optou-se por considerar como ponto fraco, o qual pode ser revertido se estabelecido um valor máximo de 50 mL desde que não haja prejuízos ao aprendizado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi elaborado tendo em vista a possibilidade de se incluir os princípios e as temáticas referentes à Química Verde nos livros didáticos de Química (LDQ) do Ensino Médio como um meio de integrar os objetivos disciplinares do ensino de Química à busca pelo desenvolvimento sustentável – diretriz proposta pela UNESCO entre os anos de 2005 e 2014 (Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável) e corroborada por Zuin *et al.* (2015), que compreende a QV como uma vertente com potencial para contribuir a formação de indivíduos mais conscientes das atuais necessidades globais. Para tanto, o trabalho se voltou ao exame da obra “*Química I*”, de autoria da professora Martha Reis.

A primeira parte da pesquisa, definida como análise geral e propostas de sequências metodológicas em QV, tinha como intuito verificar a existência de temas relacionados a vertente e sugerir possíveis abordagens complementares e pontuais, quando oportuno. Foram observados resultados significativos, que demonstraram a existência de várias lacunas nas quais a QV poderia ser inserida pelo livro e trabalhada pelo professor, para as quais foram apresentados alguns conceitos verdes que pudessem embasar discussões sobre sustentabilidade, dentro e fora de sala de aula, considerando atitudes passíveis de serem adotadas e difundidas entre os diferentes setores da sociedade, assumindo cada um a sua própria responsabilidade ambiental.

Como foi mencionado, todas as unidades da obra didática são construídas a partir de temas centrais relacionados ao meio ambiente (mudanças climáticas, oxigênio e ozônio, poluição eletromagnética, poluição de interiores e chuva ácida), sendo estes assuntos discutidos em conformidade com os saberes técnicos de cada unidade, ao longo dos capítulos. Todavia, apesar do expressivo interesse nas questões ambientais, alguns elementos carecem de questionamentos mais profundos, isto é, produções textuais que não apenas apresentem um problema, mas que provoquem inquietações acerca deste e da importância de se desenvolver meios para minimizá-lo ou preveni-lo.

Segundo o PNL D, esta capacidade de tomada de decisões, de intervenção no cotidiano, de crítica e análise do próprio contexto deve fazer parte da relação entre aluno, professor e LDQ (BRASIL, 2017a) e, portanto, se torna importante buscar meios de favorecer a compreensão de que a Química, enquanto Ciência não neutra, pode ser direcionada a concepção de processos e produtos mais seguros e menos poluentes em prol da mitigação das mudanças climáticas e da redução dos demais problemas expostos.

Compreende-se que, em alguns momentos, a discussão de um tema pode se deparar com conceitos avançados ou até mesmo a ausência de resposta científica definitiva, pois os estudos ainda podem estar em progresso, e que existem diversas barreiras que inibem a completude dos princípios e medidas aqui discutidos. No entanto, é de grande valia apresentar ao aluno as novidades e contribuições da Ciência e tecnologia, ainda que superficialmente, respeitando os saberes já construídos pelo estudante, de modo a mantê-lo informado e incentivado a formular suas próprias ideias.

A segunda parte deste estudo – análise do grau de verdura química dos experimentos – buscou avaliar as práticas com base nos princípios da QV e na construção da métrica holística matriz verde (MV). Esta etapa deixou evidente o cuidado da autora do livro em priorizar materiais de fácil acesso e, ao mesmo tempo, favorecer a aproximação dos roteiros ao cotidiano dos estudantes, conferindo maior significado as atividades. Por outro lado, ainda que estejam presentes informações sobre medidas de segurança e descarte adequado dos resíduos, foi percebida a ausência ou incompletude desses dados, em alguns casos, sendo necessária a inclusão de comentários suplementares. Para estas lacunas, foram propostos ajustes pontuais como, por exemplo, a substituição de reagentes com potencial de risco físico, a saúde e ao ambiente por outros de menor ou nenhum risco, a redução do consumo de água e a adequação dos procedimentos para que não se formem produtos perigosos, seja como resultado da prática propriamente dita ou da curiosidade do estudante.

A preocupação com a verdura química dos experimentos no LDQ reporta diretamente ao princípios da QV e a importância da prevenção, uma vez que é preferível evitar o uso e a formação de compostos indesejados do que ter que lidar com os riscos que eles envolvem. Embora Anastas e Warner (1998) tenham elaborado os princípios tendo em vista, inicialmente, os processos industriais, é crescente a compreensão de que eles devam fazer parte da formação acadêmica, sendo importante transportá-los do ensino superior ao básico, de forma gradual e acessível. Quanto a isto, a MV se mostrou uma importante ferramenta de visualização dos aspectos que podem ser melhorados nos experimentos para o Ensino Médio, refletindo simplicidade na avaliação de suas variáveis, após determinadas, como era esperado, de acordo com Ribeiro e Machado (2012, 2013).

Em linhas gerais, o exame da obra “*Química I*” permite inferir que a inserção da QV nos livros didáticos de Química pode ser feita de diferentes formas, a inclusão de seus princípios e de conceitos simples que incentivem condutas mais sustentáveis ou o esverdeamento dos experimentos, como aqui apresentadas, retratam apenas algumas destas possibilidades. É No

entanto, é importante considerar que o PNLD determina alguns aspectos para que o livro possa ser eleito dentre os possíveis para utilização, e um fator determinante é o limite do número de páginas que o mesmo pode ter. A partir desse limite, é compreensível que a maioria dos autores opte por dar prioridade aos conteúdos curriculares formais, propostos pelos currículos mínimos, limitando, assim, a introdução de novas temáticas ao livro do aluno.

Por ser uma ideia pouco difundida na educação básica, se compreende que ainda há um longo caminho a ser percorrido e muitas outras oportunidades de estudo, como estender a avaliação aos demais livros desta e de outras coletâneas e aos livros destinados exclusivamente aos professores, por exemplo. Nisto, o importante é buscar maneiras de contribuir, de forma significativa, ao alcance de uma educação escolar para o desenvolvimento sustentável, reconhecendo o livro didático com um recurso pedagógico de grande valia ao processo de ensino-aprendizagem e que, por este motivo, precisa corresponder aos anseios educacionais atuais. Se espera que esta pesquisa possa corroborar com esta busca.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Nova gasolina reduzirá emissão de enxofre em 94%**. ANP, 15 mar. 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/noticias/1398-nova-gasolina-reduzira-enxofre>. Acesso em: 28 jun. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Resolução nº 734, de 28 de junho de 2018. **Diário Oficial da União**: edição 124, seção 1, Brasília, DF, 28 jun. 2018.
- AIKENHEAD, G. Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se llame. **Educación Química**, Cidade do México, v. 16, n. 2, p. 304-315, 2005.
- AKATU. **Quer uma boa dica? Pratique os 8 Rs do consumo consciente**. Akatu, 21 jul. 2011. Disponível em: <https://www.akatu.org.br/noticia/quer-uma-boja-dica-pratique-os-8-rs-do-consumo-consciente/>. Acesso em: 30 jul. 2020.
- ALMEIDA *et al.* Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: Mapeamento e importância na prática docente. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 15, n. 34, p. 178-187, 2019.
- ALVES, R.; RÔÇAS, G. Revista controversias: uma formação continuada sobre CTS para professores de ciências por meio de uma revista digital. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p. 93-105, 2017.
- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry**: theory and practice. Oxford: University Press, 1998.
- ANIDROL. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**. De acordo com a NBR 14725-4:2012. Bicarbonato de sódio PA. Anidrol, São Paulo, 09 dez. 2013. Disponível em: <http://www.anidrol.com.br/>. Acesso em: 20 set. 2020.
- ANIDROL. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**. De acordo com a NBR 14725-4:2012. Hidróxido de Cálcio. Anidrol, São Paulo, 05 jan. 2014. Disponível em: <http://www.anidrol.com.br/>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ANIDROL. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**. De acordo com a NBR 14725-4:2014. Solução Ácido Acético 4%. Anidrol, São Paulo, 15 out. 2015a. Disponível em: <http://www.anidrol.com.br/>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ANIDROL. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**. De acordo com a NBR 14725-4:2014. Solução Ácido Acético 5%. Anidrol, São Paulo, 15 out. 2015b. Disponível em: <http://www.anidrol.com.br/>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15448-2. **Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis**. Parte 2: Biodegradação e compostagem - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.
- ATAÍDE, M. C. E. S.; DANTAS, J. M.; SILVA, M. G. L. Experimentos que geram rejeitos químicos: uma discussão à luz dos livros didáticos. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2009, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. ISSN: 21766940.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BATISTA, R. C. Poluição eletromagnética: telefonia celular, risco sanitário-ambiental e a incidência do princípio da precaução. **Revista de Direito Sanitário**, São Paulo, v. 7, n. 1-3, p. 11-43, 2006.

BERARDI, P.; DIAS, J. M. O mercado da economia circular. **GV Executivo**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 5, p. 34-37, 2018.

BITTENCOURT, C. M. F. **Livro didático e conhecimento histórico**: uma história do saber escolar. 1993. Tese (Doutorado em História Social) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

BRASIL. **Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009**. Dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos; altera a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/11934.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20limites%20%C3%A0%20exposi%C3%A7%C3%A3o,1965%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em: 09 jun. 2020.

BRASIL. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Programas do Livro: Histórico**. FNDE, 2017. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/index.php/programas/programas-do-livro/legislacao/item/518-hist%C3%B3rico>. Acesso em: 23 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm. Acesso em: 31 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)** – Ensino Médio. Brasília, 2018a.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional da Educação. Câmara de Educação Básica. Resolução nº 3, de 21 de novembro de 2018. Atualiza as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. **Diário Oficial da União**: edição 224, seção 1, Brasília, DF, 22 nov. 2018b.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **PNLD 2018: Química** – Guia de livros didáticos – Ensino Médio. Brasília: MEC, SEB, FNDE, 2017a.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **PNLD 2018: Apresentação** – Guia de livros didáticos – Ensino Médio. Brasília: MEC, SEB, FNDE, 2017b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Resolução – RDC nº 109, de 6 de setembro de 2016. Dispõe sobre regulamento técnico para produtos saneantes categorizados como alvejantes à base de hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: edição 173, seção 1, p. 38, Brasília, DF, 08 set. 2016a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pense antes de jogar fora**. MMA, 2013. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/9295-pense-antes-de-jogar-fora>. Acesso em: 30 jul. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Qualidade do Ar**. MMA, 2014? Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar.html>. Acesso em: 24 jun. 2020.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio): Parte III – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 2000.

BRASIL. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Traduzido do inglês pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio) e revisado pela Coordenadoria-Geral de Desenvolvimento Sustentável (CGDES) do Ministério das Relações Exteriores do Brasil. Brasília, 11 fev. 2016b.

BRASKEM. **Braskem é única brasileira reconhecida como Empresa Líder em Desenvolvimento Sustentável pelo Pacto Global da ONU**. Braskem, 23 set. 2019a. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/paratletismo-noticia-detalle/braskem-e-unica-brasileira-reconhecida-como-empresa-lider-em-desenvolvimento-sustentavel-pelo-pacto-global-da-onu>. Acesso em: 16 jun. 2020.

BRASKEM. **Como funciona a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**. Braskem, 2019b. Disponível em: <https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/como-funciona-a-avaliacao-de-ciclo-de-vida-acv/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

BRASKEM. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**. De acordo com a NBR 14725-4. Cloro líquido. Braskem, 30 set. 2005.

BRASKEM. **Polietileno I'm green™ bio-based: Inovação e diferenciação para o seu produto**. Braskem, 2019c. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/cms/Principal/Catalogo/Download?CodigoCatalogo=36>. Acesso em: 16 jun. 2020.

CÂMARA, R. H. Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. **Revista Interinstitucional de Psicologia**, Minas Gerais, p. 179-191, 2013.

CARLOMAGNO, M. C.; ROCHA, L. C. Como criar e classificar categorias para fazer análise de conteúdo: uma questão metodológica. **Revista Eletrônica de Ciência Política**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 173-188, 2016.

CARNEIRO, M. H. S.; SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S. Livro didático inovador e professores: uma tensão a ser vencida. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 7, n. 2, p. 101-113, 2005.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Gaia, 2010.

CASTRO, N. P. P.; VERBEL, J. T. O. Química Verde: um nuevo reto. **Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, Bogotá, v. 21, n. 2, p. 169-182, 2011.

CHAVES, H. O. **Diretrizes sustentáveis na Construção Civil: Avaliação do ciclo de vida**. 2014. Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

COCA-COLA BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2018**. Rio de Janeiro, 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Conama n. 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em: 27 dez. 2020.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COMITÊ INTERNACIONAL DA CRUZ VERMELHA – CICV. **Armas químicas e biológicas**. CICV, 08 abr. 2013. Disponível em: <https://www.icrc.org/pt/doc/war-and-law/weapons/chemical-biological-weapons/overview-chemical-biological-weapons.htm>. Acesso em: 04 jun. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Ficha de Informação de Produto Químico**. Fósforo branco ou amarelo. Cetesb, São Paulo, 1996 e 2014. Disponível em: https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=F%D3SFORO%20BRANCO%20OU%20AMARELO. Acesso em: 04 jun. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Redes de Monitoramento**. Cetesb, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/redes-de-monitoramento/>. Acesso em: 28 jun. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Economia circular**: oportunidades e desafios para a indústria brasileira. Brasília: CNI, 2018.

CORRÊA, A. G.; ZUIN, V. G. **Química Verde**: fundamentos e aplicações. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

COSTA, D. A.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Uma análise SWOT do contexto CTSS das atividades laboratoriais do ensino secundário. **Química e Ensino**, p. 65-74, 2012.

COSTA, I. V. L. Sequestro geológico de CO₂ no Brasil. **FGV Energia**: Boletim energético, p. 24-29, 2018. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bc/article/viewFile/77068/73886>. Acesso em: 02 ago. 2020.

DEUTSCHE WELLE. **Humanidade já esgotou os recursos renováveis de 2019**. DW, 29 jul. 2019. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/humanidade-j%C3%A1-esgotou-os-recursos-renov%C3%A1veis-de-2019/a-49789439>. Acesso em: 30 jun. 2020.

DODE, A. C.; LEÃO, M. M. D. Poluição Ambiental e Exposição Humana a Campos Eletromagnéticos: Ênfase nas Estações Radiobase de Telefonia Celular. **Caderno Jurídico**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 119-138, 2004.

ESTADÃO CONTEÚDO. **Brasil tem 230 milhões de smartphones em uso**. Época Negócios, 29 abr. 2019. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/04/brasil-tem-230-milhoes-de-smartphones-em-uso.html>. Acesso em: 09 jun. 2020.

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

FONSECA, M. R. M. **Química I**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2013.

FREITAS et al. Segurança química, saúde e ambiente – perspectivas para a governança no contexto brasileiro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 249-256, 2002.

G1. **Anvisa publica proibição de venda de álcool líquido com mais de 54° GL.** G1, 26 fev. 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2013/02/anvisa-publica-proibicao-de-venda-de-alcool-liquido.html>. Acesso em: 13 abr. 2020.

G1. **Ataque químico deixa dezenas de mortos na Síria, dizem ONGs; governo Assad nega.** G1, 08 abr. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/ataque-quimico-na-siria-deixa-dezenas-de-mortos-dizem-ongs-governo-assad-nega-autoria.ghtml>. Acesso em: 04 jun. 2020.

GREENME. **Corantes naturais: faça você mesmo utilizando ingredientes comuns.** GreenMe, 16 abr. 2018. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/morar/faca-voce-mesmo/6567-corantes-naturais-faca-vocemesmo/#:~:text=Corantes%20naturais%20s%C3%A3o%20subst%C3%A2ncias%20extra%C3%ADdas,ser%20utilizados%20de%20v%C3%A1rias%20maneiras>. Acesso em: 15 set. 2020.

GSHOW. **Saiba como fazer corantes naturais em casa.** Gshow, 01 dez. 2015. Disponível: <https://gshow.globo.com/receitas-gshow/receitas/saiba-como-fazer-corantes-naturais-em-casa-gnt.ghtml>. Acesso em: 15 set. 2020.

HEINIG. **FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE PRODUTO QUÍMICO.** Vinagre álcool colorido. Heinig, set. 2013. Disponível em: <http://www.concordepr.com.br/shop/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FFile-1469535905.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

HOEKSTRA et al. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard.** Routledge, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT. **O pensamento do ciclo de vida: uma história de descobertas.** 2 ed. Brasília: Ibict, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT. **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida.** Brasília: Ibict, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. **Análise de Ecoeficiência de Janelas.** Instituto Brasileiro do PVC, São Paulo, 201-. Disponível em: <https://pvc.org.br/conhecimento/estudos-e-publicacoes/analise-de-ecoeficiencia-de-janelas>. Acesso em: 18 jun. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Carbon dioxide capture and storage.** Cambridge University Press, Reino Unido, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER – INCA. Ministério da Saúde. **Agrotóxico.** INCA, 16 set. 2019. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxicos>. Acesso em: 02 dez. 2020.

LAZZAROTTO, A. **Economia Circular: a urgência de uma nova economia.** Autossustentável, 09 abr. 2018. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2018/04/economia-circular-uma-nova-economia.html>. Acesso em: 29 jul. 2020.

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, Universidade Católica Portuguesa, Lisboa (sede), v. 1, n. 2, p. 150-171, 2015.

LENARDÃO *et al.* “Green Chemistry” – Os 12 princípios da Química Verde, e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003.

MACHADO, A. A. S. C. Da gênese ao ensino de Química Verde. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 535-543, 2011.

MARÇAL, D. **Pseudociência**. Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2016.

MARQUES, J. R. Os danos causados ao meio ambiente por poluição sonora, eletromagnética, visual e luminosa: reparação, sanções penais e administrativas. **De jure: Revista Jurídica do Ministério Público do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v. 14, n. 25, p. 217-296, 2015.

MATIAS, A. C. A. **Design Science**: Gamificação para a sustentabilidade ambiental. 2019. Dissertação (Mestrado em Gestão de Sistemas de Informação) – Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019.

MERCK. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos** – FISPQ. De acordo com a NBR 14725-4:2014. Cloreto de prata 99+ EMSURE®. Merck, São Paulo, 27 ago. 2018. Disponível em: <https://www.merckmillipore.com/BR/pt>. Acesso em: 20 set. 2020.

MERCK. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos** – FISPQ. De acordo com a NBR 14725-4:2014. Nitrato de prata para análise EMSURE® ACS, ISO, Reag. Ph Eur. Merck, São Paulo, 19 maio 2017a. Disponível em: <https://www.merckmillipore.com/BR/pt>. Acesso em: 20 set. 2020.

MERCK. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos** – FISPQ. De acordo com a NBR 14725-4:2014. Hidróxido de sódio lentilhas puro. Merck, São Paulo, 31 jul. 2017b. Disponível em: <https://www.merckmillipore.com/BR/pt>. Acesso em: 17 abr. 2020.

MERCK. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos** – FISPQ. De acordo com a NBR 14725-4:2014. Solução de hipoclorito de sódio (6-14% de cloro activo). Merck, São Paulo, 09 nov. 2017c. Disponível em: <https://www.merckmillipore.com/BR/pt>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994.

MOZETO, A. A., JARDIM, W. F. A Química Ambiental no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 7-11, 2002.

MOZZATO, A. R.; GRZYBOVSKI, D. Análise de Conteúdo como Técnica de Análise de Dados Qualitativos no Campo da Administração: Potencial e Desafios. **RAC**, Curitiba, v. 15, n. 4, p. 731-747, 2011.

MUNAKATA, K. Livro didático como indício da cultura escolar. **Revista História da Educação**, Santa Maria, 2016, v. 20, n. 50, p. 119-138, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Relatório Rio+20**: o modelo brasileiro. Relatório de sustentabilidade da organização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. Brasília: FUNAG, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Report of the United Nations Conference on the Human Environment**. United Nations Publication, 1972.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL – ONU BRASIL. **A ONU e o meio ambiente**. ONU BRASIL, 201-. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 20 jul. 2020.

ORTIZ, M. A. **Reações átomo-econômicas em síntese orgânica**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado e Licenciatura em Química) – Instituto de Química e Geociências, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

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

PORTAL SOLAR. **Forno solar reduz emissões de CO₂ por indústrias minerais e cimenteiras no mundo**. Portal Solar, 12 maio 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/forno-solar-reduz-emissoes-de-co2-por-industrias-minerais-e-cimenteiras-no-mundo.html>. Acesso em: 04 jun. 2020.

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

RAVAGNANI, A. T. F. S. G.; SUSLICK, S. B. Modelo dinâmico de sequestro geológico de CO₂ em reservatórios de petróleo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, p. 39-60, 2008.

RECKITT BENCKISER BRASIL LDTA. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos** (FISPQ). VEJA MULTI USO - Original, Floral, Campestre, Laranja, Maçã-Verde, Lavanda e Álcool, Pitanga e Com Álcool. RB, 27 mar. 2016. Disponível em: <http://www.impakto.com.br/web/produtoEspecificacao/021320.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020.

RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Holistic metrics for assessment of the greenness of chemical reactions in the context of chemical education. **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 90, p. 432-439, 2013.

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

ROSA, S. E.; STRIEDER, R. B. Educação CTS e a não neutralidade da ciência-tecnologia: um olhar para práticas educativas centradas na questão energética. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Paraná, v. 11, n. 3, p. 98-123, 2018.

SANDRI, M. C. M.; FILHO, O. S. Análise da veracidade química de experimentos propostos para o ensino médio. **ACTIO: Docência em Ciências**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 1-19, 2016.

SANTOS, R. A.; AULER, D. Práticas educativas CTS: busca de uma participação social para além da avaliação de impactos da Ciência-Tecnologia na Sociedade. **Ciência & Educação**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 485-503, 2019.

SANTOS, S. M. O. **Critério para avaliação de livros didáticos de Química para o Ensino Médio**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino de Química”) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SERRANO, M. D. C. D. Química verde: um nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. **Educación Química**, Cidade do México, v. 20, n. 4, p. 412-420, 2009.

SHAHZAD *et al.* Electromagnetic interference shielding with 2D transition metal carbides (MXenes). **Science**, Washington, v. 353, ed. 6304, p. 1137-1140, 2016.

SHIMOMOTO, B. M. S. **Degradabilidade de sacolas plásticas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SOUZA, A. C.; SILVA, C. E.; COSTA, T. T. A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Espanha, v. 19, n. 3, p. 593-616, 2020.

SOUZA, A. C.; SILVA, C. E.; COSTA, T. T. Ações de extensão no ensino médio: química verde e desenvolvimento sustentável. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 6, p. 6834-6844, 2019.

THE CLUB OF ROME. **Sobre o Clube de Roma**. The Club of Rome, 2020?. Disponível em: <https://clubofrome.org/about-us/>. Acesso em: 20 jul. 2020.

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

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

VASCONCELOS, Y. Agrotóxicos na berlinda. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, ed. 271, p. 18-27, 2018.

WWF-BRASIL. **A Pegada Ecológica de Campo Grande e a família de pegadas**. WWF-Brasil, Brasília, 2012.

ZANDONAI *et al.* Química Verde e Formação de Profissionais do Campo da Química: Relato de uma Experiência Didática para Além do Laboratório de Ensino. **Revista Virtual de Química**, Universidade Federal Fluminense, Niterói, v. 6, n. 1, p. 73-84, 2014.

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

ANEXO A – EXPERIMENTOS DO LIVRO “QUÍMICA I”

Os roteiros foram organizados visando o melhor aproveitamento do espaço das páginas e, por este motivo, não seguem, necessariamente, a ordem apresentada no livro. Esta escolha objetiva evitar o desperdício de folhas, caso haja impressão deste trabalho.

Experimento número 1

Densidade e correntes de convecção

Material necessário

- 2 copos de plástico pequenos (de café) descartáveis
- Corante alimentício
- 2 béqueres ou jarras de vidro transparente de 1 L
- Água
- Sal de cozinha

Como fazer

Prepare previamente o gelo colorido: coloque quantidades iguais de água nos dois copos de plástico (cerca de 50 mL) e adicione o mesmo número de gotas de corante alimentício em cada copo, de modo a obter uma coloração intensa. Leve os copos ao congelador e aguarde até que a água colorida se solidifique.

Coloque a mesma medida de água nas duas jarras de vidro.

Em apenas uma delas, vá adicionando sal de cozinha aos poucos, mexendo sempre, até notar no fundo da jarra um pequeno depósito de sal que não se dissolve mais. Nesse momento você terá obtido uma solução saturada de sal (a ideia é imitar as águas dos oceanos).

Rasgue o plástico dos copos de modo a liberar os blocos de gelo e coloque um bloco de gelo colorido em cada jarra. Observe o que ocorre nos dois sistemas com os blocos de gelo e com o líquido.

Investigue

1. O bloco de gelo derrete primeiro na jarra com água pura ou na jarra com água e sal?
2. O que ocorreu com o corante na jarra só com água? E na jarra com água e sal?
3. Considere um copo contendo inicialmente 100 mL de água e 10 g de sal. Leve em conta agora a adição de mais 25 mL de água nesse copo. O grau de salinidade (quantidade de sal por volume de água) dessa solução aumentou ou diminuiu? Justifique.
4. Considere agora que o copo contendo inicialmente 100 mL de água e 10 g de sal seja deixado em repouso, ao sol, até que 20 mL da água contida no copo evaporem. Nesse caso, o grau de salinidade da solução aumentou ou diminuiu? Justifique.
5. O regime de chuvas (por excesso ou por falta) pode alterar o grau de salinidade dos oceanos e as correntes marítimas?

Experimento número 4

Combustão na balança de pratos

Material necessário

- 1 balança de pratos (que pode ser construída pelo professor)
- papel
- palha de aço
- caixa de fósforos

Como fazer

Pegue um pedaço de papel e coloque-o cuidadosamente sobre um dos suportes acima do prato da balança. Equilibre a balança colocando palitos de fósforo, um a um, no outro prato.

Quando a balança estiver equilibrada, acenda o palito de fósforo e queime o papel.

Para qual dos lados a balança pende?

Repita o procedimento utilizando um pedaço de palha de aço no lugar do pedaço de papel. O que você observa agora?

Investigue

1. Na combustão do papel, a massa dos produtos é maior, menor ou igual à massa dos reagentes? Como você chegou a essa conclusão?
2. Na combustão da palha de aço, a massa dos produtos é maior, menor ou igual à massa dos reagentes? Como você chegou a essa conclusão?



CUIDADO!
Responsabilidade é tudo!

Dica de segurança

O experimento deve ser feito apenas pelo professor. É necessário ter extremo cuidado com a chama, certificando-se de que não há material inflamável por perto. Os alunos devem fazer observações e podem propor explicações para o que foi observado.

Experimento número 2

Indícios de transformações químicas

Parte 1: Refrigerante de laranja e água sanitária

Material necessário

- 1 copo de vidro
- 1 colher de sopa
- 50 mL de refrigerante de laranja
- solução aquosa de hipoclorito de sódio (água sanitária)

Como fazer

Coloque 50 mL de refrigerante de laranja no copo. Adicione 2 colheres de sopa de hipoclorito de sódio e mexa bem. O que você observa?



Parte 2: Preparação da água de cal

Material necessário

- 200 mL de água
- cal virgem (óxido de cálcio)
- 1 copo de plástico de 300 mL
- 1 pires de vidro ou de cerâmica
- 3 filtros de papel (do tipo utilizado para coar café)
- 1 porta-filtro
- 1 bule de cerâmica ou de vidro
- 1 colher de sopa de plástico
- 1 garrafa PET pequena, transparente, vazia, limpa e com tampa
- 1 termômetro de uso culinário (opcional)

Guarde metade da água de cal para utilizarmos mais tarde, em outros experimentos.

Descarte de rejeitos

Os filtros de papel com a cal hidratada podem ser encaminhados ao aterro sanitário (lixo comum).

Parte 3: Soprando a água de cal

Material necessário

- 100 mL de água de cal (metade do que foi obtido na parte 2 deste experimento)
- 1 copo de vidro
- 1 canudo de plástico



CUIDADO!
Responsabilidade é tudo!

Dica de segurança

A água de cal não pode ser ingerida.

Como fazer

Coloque 200 mL de água no copo. Adicione 2 colheres de sopa de cal, mexa cuidadosamente e verifique a temperatura do copo pelo lado externo tocando-o com as mãos ou, se tiver o termômetro, meça a temperatura da solução. O que você observa?

Tampe o copo com o pires e deixe a solução decantar até o dia seguinte. Sem agitar o copo para que o precipitado branco depositado no fundo não se misture muito com o líquido (sobrenadante), passe a solução pelos filtros de papel. Antes, coloque-os um dentro do outro no porta-filtro e encaixe no bule. Guarde o líquido limpo na garrafa PET tampada, pois voltaremos a usá-lo mais algumas vezes.



CUIDADO!
Responsabilidade é tudo!

Dica de segurança

Cuidado ao manipular a água sanitária e o óxido de cálcio. Não ingeri-los.

Como fazer

Coloque cerca de 100 mL de água de cal no copo. Coloque o canudo no copo e assopre por um tempo. O que você observa?

Parte 4: Carbonato de cálcio e vinagre

Material necessário

- 1 copo de vidro
- 1 colher de sopa
- líquido obtido no experimento anterior
- Vinagre

Como fazer

Adicione uma colher de sopa de vinagre no líquido obtido no experimento anterior. O que você observa?

Descarte de rejeitos

O líquido que sobrou pode ser descartado no esgoto.

Investigue

1. Com base nos experimentos propostos, indique quais os principais indícios de que possa ter ocorrido uma transformação química em um determinado sistema.
2. Pesquise e explique, com base na parte 4 do experimento, por que dizem que o ambiente de uma casa recém-caída apresenta um ar bastante fresco e agradável.

Experimento número 3

Indicadores ácido-base

Material necessário

- 1/2 repolho roxo de tamanho médio
- água
- 1 panela
- 1 garrafa PET transparente de 250 mL, limpa e com tampa
- 1 conjunto de jarra e peneira que se encaixem uma na outra
- 1 frasco com conta-gotas limpo e seco
- 6 copos de vidro pequenos
- 6 etiquetas brancas ou pedaços de esparadrapo

Líquidos que serão testados

- vinagre branco
- água de chuva
- água de cal (você pode utilizar a que sobrou do experimento anterior)
- solução de bicarbonato de sódio
- refrigerante tipo soda
- desinfetante com amoníaco

Se quiser, teste também água destilada (comprada em posto de gasolina), suco de limão, saliva, água do mar, solução de leite de magnésia, solução de água e sabão em pedra, solução de água e sabonete, solução de água e xampu, solução de água e comprimido antiácido, solução de água e aspirina, etc.

Como fazer

Corte o repolho em pedaços pequenos, coloque-os na panela e cubra-os com água.

• Extrato alcoólico de flores de hibisco

Coloque 5 pétalas de flores para cada 2 colheres de sopa de álcool etílico 92,8 °GL. Deixe a solução descansar por 1 hora ou até que as pétalas percam a cor. Guarde-a coada em um frasco limpo e com tampa.

• Extrato alcoólico de beterraba

Junte uma beterraba pequena cortada em fatias finas a 100 mL de álcool etílico 92,8 °GL. Deixe descansar por 1 hora e guarde a solução coada em um frasco limpo e tampado.

• Fenolftaleína (adquirida apenas em lojas de materiais para laboratório).

Em 7 de maio de 2002, a Agência de Vigilância Sanitária (Anvisa) proibiu a venda de laxantes contendo essa substância:

Nenhum medicamento vendido no Brasil poderá ter em sua fórmula a substância laxante fenolftaleína [...]. A decisão é da Anvisa, com base em resolução do FDA [Food and Drug Administration], órgão norte-americano que controla a venda de alimentos e remédios nos EUA, [...] que aponta risco de a substância causar câncer nas pessoas.

Disponível em: <www.portaldoinformacao.gov.br/noticia.asp?busca=sim&id=315>. Acesso em: 9 maio 2012.

A extração de um pigmento pode ser feita por maceração, como no caso das flores de hibisco ou da beterraba, deixando-se o vegetal em contato com um solvente adequado por certo tempo. A extração dos pigmentos do repolho roxo, como indicado no experimento anterior, não é feita por maceração, mas por decocção, que consiste na extração de princípios ativos do vegetal, previamente reduzido a pequenos pedaços, pelo contato prolongado (no máximo uma hora) com água em ebulição. Essa técnica permite extrair produtos que não são solúveis na água fria ou mesmo aumentar a quantidade de substâncias extraídas. Há, porém, o risco de ocorrerem alterações na composição química

Leve ao fogo e deixe ferver até que a água se reduza a praticamente metade do volume inicial. Desligue o fogo, tampe a panela e espere esfriar. Apoie a peneira na jarra ecoe o conteúdo da panela. Passe a solução da jarra para a garrafa PET.

Coloque a solução de extrato de repolho roxo nos copos até cerca de 1/3 da capacidade (20 mL). Escreva nas etiquetas o nome dos líquidos que serão testados e cole nos copos.



Se necessário, o extrato de repolho roxo pode ser conservado em geladeira por algum tempo.

Adicione o conteúdo de um conta-gotas cheio de vinagre branco ao copo que possui a respectiva etiqueta. Observe e registre suas conclusões. Faça o mesmo em relação aos outros líquidos.

Não se esqueça de lavar muito bem o conta-gotas antes de testar cada material para que não haja alteração nos resultados.

Há ainda outras substâncias que podemos utilizar como indicadores:

de certos princípios ativos quando o tempo de decocção ultrapassa meia hora.

Investigue

1. Classifique os materiais que você testou em um dos seguintes grupos, conforme a cor da solução observada:

Cor da solução de extrato de repolho roxo	Grupo
Vermelho	Ácido forte
Rosa	Ácido moderado
Roxo	Ácido fraco
Azul	Neutro
Verde	Base fraca
Verde-amarelo	Base forte

2. Prepare os indicadores relacionados anteriormente: extrato alcoólico de flores de hibisco, extrato alcoólico de beterraba e fenolftaleína (se conseguir). Repita o teste com os mesmos materiais que você utilizou no experimento com o indicador de repolho roxo e anote a cor que cada novo indicador adquire na presença desses materiais. Pelo resultado obtido, monte uma tabela que mostre a cor dos indicadores testados em meio ácido, básico e neutro.



Flor de hibisco, originária da China e bastante comum nos jardins e praças da região Sudeste do Brasil.



Dica de segurança

O preparo do extrato de repolho roxo deve ser feito somente pelo professor, tomando extremo cuidado com o fogo e certificando-se de que não há materiais inflamáveis por perto. Os alunos podem fazer os testes em grupos.

Experimento número 5

Eletrólise da água

Material necessário

- 2 eletrodos de fio de cobre grosso, de 2,5 mm de diâmetro e 20 cm de comprimento, descascados nas extremidades
- cuba de plástico feita com o fundo de uma garrafa PET transparente de 2 L
- 2 seringas de 5 mL de capacidade (sem agulha)
- massa de modelar ou parafina (para vedar as seringas)
- tira de isopor que caiba na cuba (para dar suporte às seringas)
- 1 bateria de 6 V (bateria de moto) ou 4 pilhas alcalinas de 1,5 V ligadas em série em um porta-pilhas
- 2 fios de cobre bem finos de aproximadamente 40 cm de comprimento (comprados em loja de material elétrico)
- fita adesiva
- água
- 1 colher rasa de café de sulfato de sódio

Como fazer

Faça uma solução diluída de sulfato de sódio, dissolvendo uma colher rasa do sal em 500 mL de água. Reserve.

Fure a tira de isopor próximo às duas extremidades para poder encaixar as duas seringas, lado a lado na placa. Reserve. Vede as pontas das seringas com massa de modelar ou parafina. Reserve.

Remova 2 cm da parte isolante das extremidades de cada fio de cobre grosso para fazer os eletrodos e ajeite seu formato em “S” para que uma parte dele possa ficar dentro da cuba, encaixada em uma seringa, e a outra fique para fora da cuba para ser ligada, por meio de um fio de cobre fino, a um dos polos da bateria (observe o esquema na página ao lado).

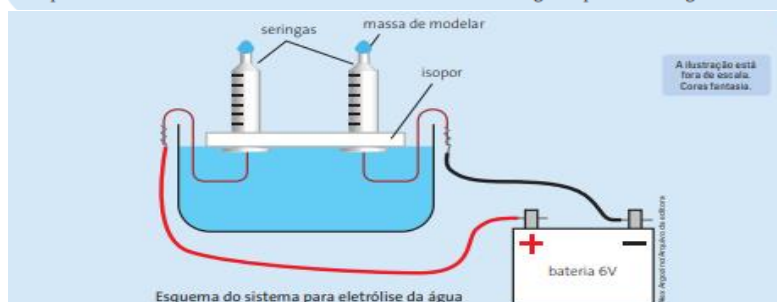
Se necessário, utilize a fita adesiva para prender o fio de cobre fino ao eletrodo e à bateria.

Coloque a solução aquosa de sulfato de sódio até 2/3 da altura da cuba.

Encha uma seringa completamente com a solução, tape-a com a palma da mão e emborque-a na solução da cuba. Só retire a mão quando a boca da seringa estiver abaixo do nível da solução na cuba, de modo que não fique ar dentro da seringa. Encaixe a seringa no suporte de isopor e arrume dentro dela um dos eletrodos de cobre.

A palavra *eletrodo* significa ‘caminho para a eletricidade’. O eletrodo ligado ao **polo positivo** da bateria é denominado **ânodo**. O eletrodo ligado ao **polo negativo** é denominado **cátodo**.

Repita o procedimento descrito anteriormente com a outra seringa e o outro eletrodo. O sistema final deverá ficar semelhante ao do esquema. Deixe a eletrólise ocorrer até que uma das seringas fique cheia de gás. Em se-



guida, o professor poderá fazer os testes demonstrativos para o reconhecimento dos gases hidrogênio e oxigênio.

- **Teste do hidrogênio:** Retire da cuba a seringa que você acredita que tenha o gás hidrogênio, mantendo-a com a boca virada para baixo para evitar que o gás (que é menos denso que o ar) escape. Aproxime da seringa um palito de fósforo aceso. O que você observa? Por quê?
- **Teste do oxigênio:** Retire da cuba a seringa que você acredita que tenha o gás oxigênio, mantendo-a inclinada, com a boca virada para cima (o oxigênio é mais denso que o ar), e aproxime um palito de fósforo em brasa ou um pedaço de palhinha de aço começando a queimar. O que você observa? Por quê?

Descarte de rejeitos

A solução de sulfato de sódio pode ser descartada diretamente na pia. A bateria (ou as pilhas) contém metais pesados e tóxicos, além de outros materiais poluentes; quando gastas,

devem ser entregues em postos de coleta especializados para serem devolvidas ao fabricante, que irá reciclá-las.

Investigue

1. Em qual dos eletrodos o oxigênio é produzido: no ânodo ou no cátodo? E o hidrogênio? Como você chegou a essa conclusão?
2. O volume de gases hidrogênio e oxigênio obtidos é exatamente o que você esperava? Se não, proponha uma explicação (se necessário, investigue a respeito) para a proporção entre volumes observada.
3. Nossa proposta é dar preferência à utilização de materiais do dia a dia nos experimentos. Por que então preferimos utilizar sulfato de sódio em vez de cloreto de sódio (sal de cozinha) se ambos formam com a água uma solução condutora? Se não conseguir responder, repita o experimento substituindo o sulfato de sódio pelo cloreto de sódio. O que você observa? Explique.



Dicas de segurança

1) O sulfato de sódio é um pó branco, sem cheiro e de toxicidade média quando ingerido. Não causa irritações na pele nem nas membranas mucosas, mas em grandes concentrações pode causar irritações às narinas e aos olhos. Não é inflamável. É usado na manufatura de papelão, vidro, papel *kraft*, cerâmica vitrificada, detergente, fibras têxteis (viscose, raiom), tintas e corantes, e aditivos de alimentos. Na Medicina é usado como laxante. Pode ser encontrado em algumas farmácias.

2) Os testes devem ser feitos apenas pelo professor, tomando extremo cuidado com a chama, certificando-se de que não há materiais inflamáveis por perto. Os alunos farão observações e poderão propor explicações para o que foi observado.

Experimento número 6

Relação de massas

Material necessário

- a balança de pratos utilizada no experimento da página 89
- 36 palitos de dente (escolha na caixa os mais bem formados e parecidos entre si)
- 3 cotonetes
- 3 cliques de papel (pequenos, n. 0-2)
- 3 grampos de cabelo (grandes, n. 7)

Como fazer

Os palitos de dente serão a nossa unidade de massa, por isso precisam ser escolhidos com cuidado (devem formar um conjunto o mais uniforme possível) e terão símbolo pd.

Faça a medida da massa de um item de cada vez em pd. Por exemplo, quantos palitos de dente são necessários colocar no prato para equilibrar a balança quando no outro prato há um cotonete?

Faça a mesma coisa em relação ao clipe de papel e ao grampo de cabelo.

Repita o procedimento utilizando 2 cotonetes, 2 cliques de papel e 2 grampos de cabelo. Depois repita para 3 itens de cada objeto.

Monte a seguinte tabela no caderno e anote os valores encontrados conforme for fazendo as medidas de massa:

Objetos	1 objeto: massa/pd	2 objetos: massa/pd	3 objetos: massa/pd
Cotonete			
Clique			
Grampo			

Investigue

1. Em todos os casos você conseguiu estabelecer que a massa de dois objetos de mesmo tipo é o dobro da massa de um objeto, e que a massa de três objetos é o triplo da massa de um (como seria de esperar pela lógica)? Se o resultado não foi muito satisfatório, a que você atribui a discrepância?
2. Qual foi o objeto mais difícil de estabelecer uma relação de dobro e triplo da massa unitária? Por quê?
3. Se você desconsiderar as incertezas inerentes ao experimento e tomar valores aproximados, consegue estimar as massas em pd de quatro objetos de cada tipo? E de cinco objetos? E de dez objetos? E de cem objetos? E de mil? Explique.
4. Considerando o item anterior, você consegue estabelecer uma relação entre os diferentes objetos, expressa em pd/n, para n objetos de cada tipo (sendo n um número imensurável de objetos)?

Experimento número 8

Polaridade e solubilidade

Parte 1: Misturando água e óleo

Material necessário

- 1 copo de vidro transparente pequeno
- 3 colheres de sopa de água
- 2 colheres de sopa de óleo de cozinha
- 1 colher de chá de detergente líquido utilizado para lavar louça

Como fazer

Coloque a água no copo e, em seguida, coloque o óleo de cozinha e mexa bem. Deixe o sistema em repouso por alguns instantes.

O que você observa?

Agora adicione ao sistema uma colher de chá de detergente líquido. Mexa bem novamente e deixe repousar um pouco.

O que você observa?

Parte 2: Formação de micelas*

Material necessário

- 1 pires
- corante alimentício (por exemplo, amarelo, azul e/ou rosa)
- leite integral
- conta-gotas
- detergente líquido utilizado para lavar louça

Como fazer

Coloque um pouco de leite no pires. Adicione cuidadosamente uma gota de cada corante que conseguir (pode ser de uma só cor ou de cores diferentes) na superfície do leite em 3 ou 4 pontos diferentes, próximos à borda do pires. Em seguida, pingue 1 gota de detergente bem no centro do sistema. O que você observa?

Pingue então uma gota de corante no centro do pires e, no centro da gota de corante que se formar, pingue duas ou três gotas de detergente. O que está acontecendo?

Investigue

1. Há alguma relação entre a primeira parte do experimento e a segunda? Em caso de resposta afirmativa, explique qual.
2. Sabendo que a água é uma molécula polar, e a gasolina é uma mistura de moléculas apolares, pesquise que característica da molécula de álcool etílico faz com que ela se dissolva nos dois meios.
3. O preparo da maionese caseira é muito semelhante à parte 1 deste experimento. Que ingrediente faz o papel de detergente na maionese?

Experimento número 7

Eletrólitos e não eletrólitos

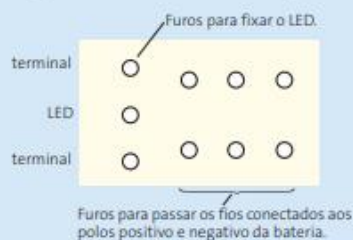
Material necessário

- 1 LED
- 2 pedaços de 15 cm de fio rígido
- 20 cm de fio cabinho
- bateria de 9 V
- conector para bateria de 9 V
- placa de plástico de 10 cm × 6 cm
- 1 copo de vidro
- 1 colher de café
- sal de cozinha, NaCl
- açúcar refinado, $C_{12}H_{22}O_{11}$
- água destilada (encontrada em alguns postos de gasolina)
- água de torneira

Como fazer

Antes de começar a montagem, retire cerca de 2 cm do isolamento de uma das extremidades de cada fio rígido e 1 cm da outra extremidade. Perfure a placa de plástico, que servirá de base para o circuito, em duas fileiras de três pontos consecutivos (como mostra a ilustração a seguir) para passar os fios rígidos (paralelos um ao outro) de modo que as extremidades descascadas em 2 cm fiquem para baixo da placa. Dobre os fios e, se achar necessário, passe cola para que fiquem fixos.

Faça mais três furos perpendiculares aos primeiros para fixar o LED. Alargue o furo central para encaixar e fixar o LED na placa.



Dobre seus terminais e passe-os para a parte de cima da placa, usando os furos dos lados. Descasque as extremidades de um pedaço do cabinho para ligar o polo negativo do

LED (o terminal de menor tamanho) a um dos eletrodos. O terminal de maior tamanho do LED deve ser ligado ao polo positivo da bateria.



Montagem do experimento

Retire 0,5 cm dos fios do conector da bateria. Instale o conector na bateria (não encoste os terminais do conector, pois isso vai causar um curto circuito na bateria diminuindo sua vida útil).

Coloque água destilada em um copo e a placa sobre o copo de modo que os eletrodos de fios rígidos fiquem imersos no líquido. Para fechar o circuito, encoste o terminal ligado ao polo negativo da bateria ao eletrodo ligado ao polo positivo e verifique o que ocorre.

Repita o teste com os seguintes materiais: sal de cozinha puro, açúcar puro, solução de água destilada e sal de cozinha (1 colher de café de sal em 100 mL de água), solução de água destilada e açúcar (1 colher de café de açúcar em 100 mL de água) e água de torneira.

Investigue

1. A água destilada conduz eletricidade? Por quê?
2. O sal de cozinha puro conduz eletricidade? Que explicação você daria para isso?
3. A solução de água destilada e sal de cozinha (cloreto de sódio) conduz eletricidade? Você notou algo diferente no sistema ao testar essa solução? Investigue a respeito e explique o que está ocorrendo.
4. O açúcar puro conduz eletricidade? E a solução de água destilada e açúcar conduz? Por quê?
5. A água de torneira (água de banho) conduz eletricidade? Qual a diferença entre a água de torneira e a água destilada?

Experimento número 9

Bolhas mais resistentes

Material necessário

- 1 medida de detergente para lavar louça
- 1 medida de água
- 1/2 medida de xarope de milho
- 1 recipiente de boca larga (copo ou tigela)
- 1 aro com suporte (com diâmetro menor que o do recipiente) feito com um pedaço de arame grosso

Como fazer

Prepare a mistura conforme o tamanho do recipiente e a quantidade que deseja utilizar. O importante é respeitar a proporção (por exemplo, 100 mL de detergente, 100 mL de água e 50 mL de xarope de milho), certificando-se de que será possível mergulhar o aro na

quantidade final de mistura. Se possível, prepare a mistura e deixe-a em repouso por uns dois dias antes de utilizá-la.

Mergulhe o aro na mistura, retire-o e verifique se foi formado um filme no interior do aro. Sobre cuidadosamente e divirta-se.

Investigue

1. Por que as bolhas de sabão são esféricas?
2. De que é constituído o xarope de milho? Qual o papel desse ingrediente na mistura?
3. Pesquise e proponha um substituto para o xarope de milho.
4. Por que a mistura deve ficar em repouso antes de ser utilizada?

Experimento número 10

Crescimento de cristais

Material necessário

- algumas pedras de dolomita (do tipo brita, usada em construção civil)
- potes de vidro de boca larga ou copos de plástico transparente
- vinagre branco
- corante alimentício amarelo, azul ou vermelho

Como fazer

Separe dois ou três potes de vidro de boca larga utilizados como embalagem de maionese ou de molho de tomate. Lave-os e seque-os bem. Coloque uma pedra de dolomita no fundo de cada pote (ou copo descartável). Cubra as pedras com vinagre branco e, se quiser, pingue duas ou três gotas do corante alimentício de sua cor preferida na solução ácida (se tiver facilidade de conseguir os corantes, experimen-

te uma cor diferente em cada pote). Deixe o recipiente em um lugar aberto, onde você possa observá-lo por alguns dias.

Coloque um aviso para que ninguém mexa nos recipientes. Observe e anote o que acontece à medida que o vinagre vai evaporando dos potes.

Investigue

1. Pesquise sobre a constituição química da dolomita.
2. Sabendo que o vinagre é uma solução aquosa de ácido acético (ácido etanoico, CH_3COOH), investigue sobre a reação química que deve ter ocorrido na pedra para justificar o fenômeno observado.
3. É possível relacionar o fenômeno observado no experimento com os estragos ambientais causados pela chuva ácida? De que forma?

Fonte: FONSECA, 2013.

ANEXO B – PICTOGRAMAS DE PERIGO

Directiva 67/548/CEE (antigos SÍMBOLOS)	PERIGOS	Regulamento (CE) N.º 1272/2008 (novos PICTOGRAMAS)
	<p>Explosivo Pode explodir em contato com uma chama, faísca, eletricidade estática, exposição ao calor ou ao ser sujeito a choque ou fricção. Perigo grave de projeções.</p>	
	<p>Inflamável Gases, aerossóis, líquidos, sólidos inflamáveis. Pode incendiar em contato com uma chama, faísca, eletricidade estática ou exposição ao calor.</p>	
	<p>Comburente Gases, líquidos, sólidos comburentes. Pode provocar ou agravar um incêndio.</p>	
Nenhum equivalente	<p>Explosivo Embalagem sob pressão - gases comprimidos, liquefeitos, dissolvidos - que podem explodir sob a ação do calor.</p>	
	<p>Corrosivo Pode provocar queimaduras graves na pele e lesões nos olhos. Também é corrosivo para metais.</p>	
	<p>Tóxico Altamente tóxico em contacto com a pele, e pode ser fatal se inalado ou ingerido.</p>	

Directiva 67/548/CEE (antigos SÍMBOLOS)	PERIGOS	Regulamento (CE) N.º 1272/2008 (novos PICTOGRAMAS)
	<p>Irritante ou nocivo Provoca a sensibilização cutânea e irritação ocular. Irritante para as vias respiratórias. Narcótico, provoca sonolência ou tonturas.</p>	
<p>Nenhum equivalente</p>	<p>Perigos graves para a saúde Pode provocar efeitos graves a longo prazo na saúde, tais como cancro, anomalias genéticas e reprodutivas ou sensibilização respiratória, como alergias, asma ou dificuldades respiratórias. Pode ser fatal por ingestão ou penetração nas vias respiratórias.</p>	
	<p>Perigos para o ambiente</p>	

Fonte: DIREÇÃO-GERAL DO CONSUMIDOR; AUTORIDADE PARA AS CONDIÇÕES DO TRABALHO, 2015? p. 5-6. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6839586-Sabes-o-que-e-um-rotulo-de-seguranca-sabes-o-que-e-um-pictograma-de-perigo-conheces-os-novos-pictogramas-de-perigo.html>. Acesso em: 21 set. 2020.