



Estudos de Caso

ABORDAGEM PARA O ENSINO DE QUÍMICA

Salete Linhares Queiroz
Carolina Sotério
Orgs.



Estudos de Caso

ABORDAGEM PARA O ENSINO DE QUÍMICA

Salete Linhares Queiroz
Carolina Sotério
Orgs.


Diagrama
EDITORIAL

São Carlos
2023

Autoras e autores

Bruno Alvim Chrisostomo
Anabel Kovacs
Caio Ricardo Faiad
Carla Andrea Moreira
Carolina Sotério
Chubraider Xavier
Fábio Aparecido Damasceno
Felipe Magioli Cadan
Guilherme Balestiero da Silva
Guilherme de Oliveira Machado
Janaina Conceição de Assis

Jéssica Freire Feitor
Lucas Ximenes Araújo
Luís Felipe Exner
Mikeas Silva de Lima
Mirella Romanelli Vicente Bertolo
Orlando Célio Campovilla Junior
Pedro Henrique Damada
Rafael Cava Mori
Rafael de Jesus Defflon
Rafael Luiz Romano
Terezinha Iolanda Ayres-Pereira

Organizadoras

Salete Linhares Queiroz
Carolina Sotério

Projeto gráfico e Diagramação

Diagrama Editorial

Capa

Pedro Henrique Vargas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

E82 Estudos de caso [recurso eletrônico]: abordagem para o ensino de química
/ organizado por Salete Linhares Queiroz, Carolina Sotério. - São Carlos :
Diagrama Editorial, 2023.
125 p. ; PDF ; 1,5 MB.

Vários autores.
Inclui bibliografia.
ISBN: 978-65-86512-39-7 (Ebook)

1. Química. 2. Química – Estudo e ensino. I. Queiroz, Salete Linhares. II.
Sotério, Carolina. III. Título.

2023-318

CDD 540
CDU 54

Elaborado por Odilio Hilario Moreira Junior - CRB-8/9949

Índice para catálogo sistemático:

1. Química 540
2. Química 54


Diagrama
EDITORIAL

Rua XV de Novembro, 2190, sala 8
Telefone: (16) 99720-3129
CEP 13560-240 - São Carlos/SP
www.diagramaeditorial.com.br

PREFÁCIO

MAURÍCIUS SELVERO PAZINATO

PROFESSOR DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

A tarefa de prefaciар um livro é desafiadora, pois muitos leitores têm o hábito de começar a leitura por esta seção, além de dar as primeiras impressões sobre a obra. Ao assumir tal responsabilidade, rememorei minha própria trajetória acadêmica para destacar a importância do método de estudo de caso na minha constituição enquanto professor e pesquisador.

O meu primeiro contato com o “estudo de casos” ocorreu por meio da leitura do livro *Estudo de Casos no Ensino de Química*¹, obra pioneira e que difundiu a metodologia para a disciplina de química no Brasil, no ano de 2009. Na época, eu estava cursando o mestrado e, empolgado com as possibilidades desta criativa e inovadora metodologia de ensino, pelo menos para mim, resolvi elaborar e aplicar um caso no ensino médio, a fim de verificar seus impactos na formação científica e cidadã dos participantes da pesquisa.

Dentre as peculiares características do método, a que inicialmente despertou minha atenção foi a possibilidade de problematizar o ensino de química. Conforme ressaltado por Cachapuz *et al.*², é nos problemas que encontramos uma das principais fontes de motivação intrínseca, que deve ser estimulada no sentido de criar nos alunos um clima de verdadeiro desafio intelectual, um ambiente de aprendizagem de que as aulas de ciências são tão carentes.

Retomando a narrativa, o caso que investiguei no mestrado obteve resultados interessantes, que foram além de avanços conceituais, tais como: auxiliar na interpretação de textos, promoção da capacidade de identificação e resolução de problemas, além da aplicação dos conteúdos de química em situações do cotidiano³. A perspectiva de poder desenvolver habilidades

1 Luciana Passos Sá e Salete Linhares Queiroz, *Estudo de casos no ensino de química*, Campinas, Editora Átomo, 2009.

2 Antônio Cachapuz *et al.* (orgs.), *A necessária renovação do ensino de ciências*, São Paulo, Editora Cortez, 2005.

3 Maurício Selvero Pazinato e Mara Elisa Fortes Braibante, “O estudo de caso como estratégia metodológica para o ensino de química no nível médio”, *Revista Ciências & Ideias*, vol. 5, pp. 1-18, 2014.

superiores nos estudantes fez com que eu adotasse o método em minhas aulas na graduação e, desde 2014, venho aplicando casos de autoria própria ou do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do Instituto de Química de São Carlos (GPEQSC) da Universidade de São Paulo. Tenho constatado na prática a potente eficiência desta estratégia de ensino no desenvolvimento de habilidades relatadas na literatura⁴, as quais se referem ao pensamento crítico, à resolução de problemas, à argumentação, à comunicação, à colaboração entre pares, dentre outras.

A experiência, provinda da sala de aula, me impulsionou a voltar a pesquisar sobre o método, sendo que a primeira dissertação que orientei no Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul foi sobre as contribuições do “estudo de casos” aliado à temática fármacos no ensino de estereoquímica e na formação de estudantes de graduação dos cursos de farmácia e biomedicina⁵. No entanto, o cenário mundial era outro, bem diferente da primeira vez que investiguei o método em minha dissertação. Em 2021, enfrentávamos aulas remotas em consequência do isolamento social imposto pela pandemia de COVID-19, bem como uma avalanche de *fake news* sobre os mais diversos assuntos, inclusive a respeito da ciência com o propósito de desacreditá-la.

Neste contexto, precisávamos (eu e minha aluna de mestrado) de um método de ensino que contribuísse para a formação de indivíduos esclarecidos e responsáveis, que soubessem pesquisar em fontes confiáveis. Recorremos ao método de estudo de caso esperançosos de que ele fosse um aliado na formação de sujeitos que compreendam a relação entre a química e os problemas pessoais e sociais com os quais irão se deparar durante a vida. E, mais uma vez, o método mostrou-se capaz de dar conta de tamanha expectativa. Os estudantes identificaram o problema, aplicaram os conceitos e sugeriram soluções para os casos. Além disso, obtivemos indícios que a estratégia promoveu avanços conceituais, com destaque para a estereoquímica, e em relação às atitudes no que se refere ao interesse nas aulas de química, à importância dessa área no cotidiano e à escolha profissional.

4 Clyde Freeman Herreid, “ConfChem conference on case-based studies in chemical education: the future of case study teaching in science”, *Journal of Chemical Education*, vol. 90, n. 2, pp. 256-257, 2013.

5 Flávia Maggioni Bernardi, *O método estudo de caso aliado à temática fármacos no ensino de química orgânica no nível superior*, dissertação de mestrado, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

Neste relato, tentei dimensionar a relevância que o método de estudo de caso possui no meu desenvolvimento profissional e com isso demonstrar algumas razões para utilizá-lo nas aulas de química, frente às diversas possibilidades que se apresentam. Neste sentido, a obra *Estudos de Caso: Abordagem para o Ensino de Química* se destaca como um referencial para professores e pesquisadores da área. O livro é organizado pela professora Salete Linhares Queiroz, a qual é pioneira no assunto, e a doutoranda Carolina Sotério, bem como possui como autores acadêmicos de mestrado ou doutorado, além de egressos dos Programas de Pós-Graduação em Química e de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, ambos da Universidade de São Paulo.

Como era esperado, o livro traz dez casos inéditos e criativos que perpassam assuntos relevantes e que fazem parte do contexto dos brasileiros. Destaca-se a temática ambiental, enfatizada por meio da contaminação ambiental (capítulo 1), do descarte inadequado de plásticos (capítulos 2 e 5) e de esmaltes (capítulo 3), bem como da poluição de águas (capítulo 8). Além disso, aspectos relacionados aos efeitos na saúde recorrentes da fabricação de espumas (capítulo 10) foram abordados. Assuntos poucos explorados no ensino de química, como a falsificação de dinheiro (capítulo 6) e os cristais líquidos, que permitem o funcionamento das telas LCD (capítulo 9), conferem ineditismo e demonstram a criatividade dos casos selecionados para a obra. Temáticas necessárias e relevantes socialmente, como a história e cultura afro-brasileira e indígena (capítulo 4), além da produção, no caso do queijo, em escala industrial e artesanal (capítulo 7), proporcionam reflexões interessantes para os leitores.

Outro aspecto diferenciado da obra é apresentar materiais e fundamentações para a aplicação dos casos em sala de aula. Todos os capítulos trazem: apontamentos didáticos; características do caso e contextualização do tema; fontes de inspiração na produção do caso; possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta; para saber mais. Essas seções garantem ao professor um arsenal de informações úteis para o desenvolvimento do método, facilitando sua aplicação.

Por fim, os dez casos compilados na obra apresentam dilemas que potencializam discussões sobre aspectos sociais e necessitam ser resolvidos com respaldo nos conceitos científicos. O livro vem a somar para todos aqueles que desejam empregar o método de estudo de caso de forma centrada no aluno, a fim de promover avanços conceituais e habilidades cognitivas superiores nos estudantes.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO12

Salete Linhares Queiroz

Carolina Sotério

CAPÍTULO 1

ESTUDO DE CASO: FÉRIAS MER-CURIOSAS 16

Bruno Alvim Chrisostomo

Rafael Cava Mori

1.1 Apontamentos didáticos 17

1.2 Características do caso e contextualização do tema 19

1.3 Fontes de inspiração na produção do caso 22

1.3.1 Passado e tragédia. 22

1.3.2 Acidente doméstico com mercúrio no Rio de Janeiro 23

1.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em
pauta 23

1.4.1 Separação física 23

1.4.2 Sorventes. 24

1.4.3 Separação física seguida do uso de sorventes. 25

1.5 Para Saber Mais. 26

1.5.1 Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia 26

1.5.2 Contaminação além do garimpo. 27

CAPÍTULO 2

ESTUDO DE CASO: QUEM DERA FOSSE UM VERME..... 28

Carla Andrea Moreira

Janaína Conceição de Assis

Guilherme Balestiero da Silva

2.1 Apontamentos didáticos 29

2.2 Características do caso e contextualização do tema 32

2.3 Fontes de inspiração na produção do caso 33

2.3.1 Equipe de pesquisa salva tartaruga marinha com canudo preso no nariz. 33

2.3.2 Proibir canudo plástico acena para preservação, mas custo deve
chegar ao cidadão 34

| | |
|--|----|
| 2.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 34 |
| 2.4.1 Distribuição e utilização de canudos duráveis/reutilizáveis | 35 |
| 2.4.2 Distribuição e utilização de canudos comestíveis | 36 |
| 2.4.3 Distribuição e utilização de canudos biodegradáveis e oxibiodegradáveis | 37 |
| 2.5 Para saber mais | 38 |
| 2.5.1 Planeta plástico | 38 |
| 2.5.2 A promessa dos bioplásticos | 38 |

CAPÍTULO 3

| | |
|--|----|
| ESTUDO DE CASO: | |
| ESMALTES: PINTAM A UNHA | |
| E O MEIO AMBIENTE!..... | 39 |
| Anabel Kovacs | |
| Luís Felipe Exner | |
| Mikeas Silva de Lima | |
| 3.1 Apontamentos didáticos | 40 |
| 3.2 Características do caso e contextualização do tema | 42 |
| 3.3 Fonte de inspiração na produção do caso. | 44 |
| 3.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 44 |
| 3.4.1 Recolhimento das embalagens por companhias especializadas | 45 |
| 3.4.2 Otimização do uso dos esmaltes | 45 |
| 3.4.3 Separação física das partes do esmalte e reciclagem | 46 |
| 3.5 Para saber mais | 47 |
| 3.5.1 Esmalte de unhas: uma temática para construção do conhecimento químico de funções orgânicas | 47 |
| 3.5.2 O trabalho das manicures e as questões da literatura científica | 47 |

CAPÍTULO 4

| | |
|---|----|
| ESTUDO DE CASO: | |
| VIVENDO E APRENDENDO SOBRE OS CABELOS | |
| NATURAIS | 48 |
| Caio Ricardo Faiad | |
| Terezinha Iolanda Ayres-Pereira | |
| Carolina Sotério | |
| 4.1 Apontamentos didáticos | 49 |
| 4.2 Características do caso e contextualização do tema | 51 |
| 4.3 Fonte de inspiração na produção do caso | 53 |

| | |
|---|----|
| 4.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 53 |
| 4.4.1 Xampus e condicionadores tradicionais | 54 |
| 4.4.2 Low poo | 56 |
| 4.4.3 No poo | 57 |
| 4.5 Para saber mais | 58 |
| 4.5.1 Elaboração e aplicação de uma sequência didática sobre a química dos cosméticos | 58 |
| 4.5.2 Fio por fio | 58 |

CAPÍTULO 5

| | |
|--|-----------|
| ESTUDO DE CASO: | |
| DA CASCA AO PLÁSTICO | 59 |
| Jéssica Freire Feitor | |
| Pedro Henrique Damada | |
| Mikeas Silva de Lima | |
| 5.1 Apontamentos didáticos | 61 |
| 5.2 Características do caso e contextualização do tema | 62 |
| 5.3 Fonte de inspiração na produção do caso | 64 |
| 5.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 64 |
| 5.4.1 Produção de bioplásticos a partir da casca da batata | 65 |
| 5.4.2 Produção de bioplásticos a partir da casca de camarão | 66 |
| 5.5 Para saber mais | 67 |
| 5.5.1 A promessa dos bioplásticos | 67 |
| 5.5.2 Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos a partir de amido de milho: uma proposta experimental de produção de biofilmes em sala de aula | 67 |

CAPÍTULO 6

| | |
|---|-----------|
| ESTUDO DE CASO: | |
| EL CASO DE PAPEL | 69 |
| Carolina Sotério | |
| Rafael de Jesus Deflon | |
| 6.1 Apontamentos didáticos | 70 |
| 6.2 Características do caso e contextualização do tema | 72 |
| 6.3 Fontes de inspiração na produção do caso | 74 |
| 6.3.1 La casa de papel (série criada por Álex Pina) | 74 |
| 6.3.2 Dinheiro sim: durável, seguro e secreto. Como são feitas as notas brasileiras | 74 |

| | |
|--|----|
| 6.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 75 |
| 6.4.1 Luz negra. | 75 |
| 6.4.2 Infravermelho | 76 |
| 6.4.3 Cromatografia..... | 76 |
| 6.4.4 Lentes de aumento | 77 |
| 6.5 Para saber mais | 77 |
| 6.5.1 A perícia criminal e a interdisciplinaridade no ensino de ciências naturais | 77 |
| 6.5.2 Química forense: uma abordagem teórica, lúdica e experimental para o ensino de química..... | 78 |

CAPÍTULO 7

ESTUDO DE CASO:

SORO: DO LIXO AO LUXO

Mirella Romanelli Vicente Bertolo

Orlando Célio Campovilla Junior

Guilherme Balestiero da Silva

| | |
|--|----|
| 7.1 Apontamentos didáticos | 80 |
| 7.2 Características do caso e contextualização do tema | 82 |
| 7.3 Fontes de inspiração na produção do caso..... | 83 |
| 7.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 83 |
| 7.4.1 Produção de ricota | 84 |
| 7.4.2 Produção do suplemento alimentar whey protein | 85 |
| 7.5 Para saber mais | 87 |
| 7.5.1 Laboratório produz etanol a partir de soro de leite..... | 87 |
| 7.5.2. Análise qualitativa de proteínas em alimentos por meio da reação de complexação do íon cúprico | 87 |

CAPÍTULO 8

ESTUDO DE CASO:

O BEBÊ AZUL

Fábio Aparecido Damasceno

Lucas Ximenes Araújo

Rafael Cava Mori

| | |
|--|----|
| 8.1 Apontamentos didáticos | 89 |
| 8.2 Características do caso e contextualização do tema | 92 |
| 8.3 Fontes de inspiração na produção do caso | 95 |
| 8.3.1 Teor de nitrato em águas subterrâneas da região metropolitana de Fortaleza, Ceará: um alerta..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| 8.3.2 Fonte de água é interditada por contaminação de nitrato em Marília, SP. | 96 |
| 8.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 96 |
| 8.4.1 Uso de filtros à base de resina iônica ou por osmose reversa | 97 |
| 8.4.2 Medidas preventivas | 97 |
| 8.4.3 Monitoramento constante dos teores de nitrito e nitrato por cromatografia de troca iônica | 98 |
| 8.5 Para Saber Mais | 100 |
| 8.5.1 Nitrato e nitrito em água mineral envasada comercializada na cidade de São Paulo | 100 |
| 8.5.2 Macroscopic: the blue baby syndromes | 100 |

CAPÍTULO 9

| | |
|--|-----|
| ESTUDO DE CASO: | |
| ÍNDIO NA TV | 102 |
| Fellipe Magioli Cadan | |
| Chubraider Xavier | |
| Guilherme Balestiero da Silva | |
| 9.1 Apontamentos didáticos | 104 |
| 9.2 Características do caso e contextualização do tema | 107 |
| 9.3 Fontes de inspiração na produção do caso | 108 |
| 9.3.1 As telas touchscreen podem estar chegando ao fim. Saiba o porquê. | 108 |
| 9.3.2 Implicações da escassez de índio para o mercado: considerações de tecnologia e mercado para manter o crescimento | 109 |
| 9.4 Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 109 |
| 9.4.1 Reciclagem do elemento químico índio | 109 |
| 9.4.2 Substituição do ITO por novos materiais | 111 |
| 9.5 Para Saber Mais | 112 |
| 9.5.1 Índio: uma visão científica e tecnológica de um metal estratégico | 112 |
| 9.5.2 O lixo eletrônico: uma abordagem para o ensino fundamental e médio. | 112 |
| 9.5.3 Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química | 113 |

CAPÍTULO 10

| | |
|-----------------------------------|-----|
| ESTUDO DE CASO: | |
| CHAMA O GILMAR! | 114 |
| Guilherme de Oliveira Machado | |
| Rafael Luiz Romano | |
| Rafael Cava Mori | |
| 10.1 Apontamentos didáticos | 115 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| 10.2 | Características do caso e contextualização do tema | 118 |
| 10.3 | Fontes de inspiração na produção do caso..... | 121 |
| 10.3.1 | Flame retardants: what to know about chemicals in furniture and cables. | 121 |
| 10.3.2 | Industry group calls for European Commission to drop ban on halogenated flame retardants in electronics | 122 |
| 10.4 | Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta | 122 |
| 10.4.1 | Polifosfato de amônio..... | 123 |
| 10.4.2 | Melamina | 124 |
| 10.5 | Para Saber Mais | 125 |
| 10.5.1 | Organophosphate ester flame retardants: are they a regrettable substitution for polybrominated diphenyl ethers? | 125 |
| 10.5.2 | Bioinspired catecholic flame retardant nanocoating for flexible polyurethane foams..... | 125 |

APRESENTAÇÃO

SALETE LINHARES QUEIROZ¹

CAROLINA SOTÉRIO²

Estudos de caso, aqui entendidos como narrativas nas quais os personagens enfrentam problemas que precisam ser solucionados com o auxílio de estudantes – leitores a quem se destinam – mediante considerações sobre o contexto descrito, constituem-se na base para a aplicação do método de estudo de caso, uma variante da aprendizagem baseada em problemas (*problem based learning*, PBL, em língua inglesa)³.

A utilização de estudos de caso em espaços educativos tem ganhado destaque devido às potencialidades que apresenta para o desenvolvimento de uma ampla gama de habilidades, notadamente quando os estudantes estão envolvidos e motivados na solução de problemas autênticos contidos na narrativa do caso em análise. De fato, a busca por soluções de problemas autênticos, que são aqueles que trazem em seu bojo situações da vida cotidiana e requisitam a consideração de explicações alternativas, tendo como fundamento o uso de pensamento crítico⁴, favorece o entendimento de conceitos científicos e o desenvolvimento de habilidades cada vez mais necessárias na atualidade, como a capacidade de argumentação e de tomada de decisão, especialmente diante de questões relacionadas à ciência e à tecnologia.

Pioneiro na produção e aplicação de estudos de caso para o ensino de química no Brasil, o Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do Instituto Química de São Carlos (GPEQSC), coordenado pela primeira organizadora deste livro, professora Salete Linhares Queiroz, vem desenvolvendo pesquisas e divulgando os respectivos resultados a respeito da temática desde o início da década de 2000,

1 Professora do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, bolsista de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e editora da revista Química Nova na Escola.

2 Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

3 Luciana Passos Sá e Salete Linhares Queiroz, *Estudo de casos no ensino de química*, Campinas, Editora Átomo, 2. ed., 2010.

4 Richard A. Duschl e Jonathan Osborne, “Supporting and promoting argumentation discourse in science education”, *Studies in Science Education*, vol. 38, n. 1, pp. 39-72, 2008.

assim como produzindo materiais didáticos, que incluem livros voltados para a educação básica e ensino superior^{5,6,7,8}.

Esta obra resulta de mais uma iniciativa do GPEQSC, com o intuito de ampliar a produção do conhecimento sobre a abordagem de estudos de caso no ensino de química. Tendo a sua origem em duas disciplinas de pós-graduação ministradas na Universidade de São Paulo – SQF5798-Aspectos Avançados da Docência no Ensino Superior de Química e ECQ5719-Aprendizagem de Ciências Baseada em Casos – a publicação reúne uma série de estudos de caso redigidos por estudantes e egressos do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos e do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências.

Os autores se pautaram no trabalho de Herreid *et al.*⁹ para a construção dos estudos de caso. Todas as narrativas procuram abarcar características que cativem os leitores pelo assunto em pauta, buscando, dessa forma: despertar o interesse pela questão central tratada; ter caráter atual; ser curto; promover empatia com os personagens; incluir diálogos; ser relevante para o leitor; possuir utilidade pedagógica; provocar conflitos; conduzir à tomada de decisões; permitir generalizações. Ademais, nos estudos de caso foi explorado um universo que perpassa diversas situações, incluindo desde o descarte de esmaltes até a falsificação de dinheiro.

Compilando, assim, estudos de caso sobre problemáticas com soluções situadas principalmente no âmbito da química, mas que oferecem também aos estudantes oportunidades para investigá-las na perspectiva de outras disciplinas, cada um dos dez capítulos deste livro, além da própria narrativa do estudo de caso apresenta os seguintes tópicos:

- *Apontamentos didáticos;*
- *Características do caso e contextualização do tema;*
- *Fontes de inspiração na produção do caso;*
- *Possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta;*
- *Para saber mais.*

-
- 5 Salete Linhares Queiroz e Patrícia Fernanda de Oliveira Cabral, *Estudos de caso no ensino de ciências naturais*, São Carlos, Art Point Gráfica e Editora, 2016.
 - 6 Salete Linhares Queiroz e Erasmo Moisés dos Santos Silva, *Estudos de caso para o ensino de química 1*, Curitiba, Editora CRV, 2017.
 - 7 Salete Linhares Queiroz e Daniela Marques Alexandrino, *Estudos de caso para o ensino de química 2*, Curitiba, Editora CRV, 2018.
 - 8 Salete Linhares Queiroz e Flávia Gabriele Sacchi, *Estudos de caso no ensino de ciências naturais e na educação ambiental*, São Carlos, Diagrama Editorial, 2020.
 - 9 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

Os *apontamentos didáticos*, que seguem após a narrativa de cada caso, contemplam as conexões feitas pelos autores entre o conteúdo de cada assunto abordado e as recomendações curriculares de documentos oficiais que versam sobre o ensino de ciências naturais no âmbito da educação básica e de nível superior. O tópico referente às *características do caso e contextualização do tema*, por sua vez, relaciona o caso com os elementos que o qualifiquem como “bom”, sob a ótica dos trabalhos que pautaram a construção dos mesmos. Além disso, esse mesmo tópico ainda discorre sobre o contexto no qual os casos foram elaborados, justificando assim a escolha do tema. Em seguida, indicativos sobre a ideia que originou o estudo de caso e soluções sugeridas para a sua resolução são apresentados, respectivamente, nos tópicos *fontes de inspiração na produção do caso e possíveis soluções para o problema e conteúdos de química em pauta*. O tópico *para saber mais* encerra o capítulo, no qual constam sugestões de leituras sobre o tema em foco.

A inserção do livro no ambiente acadêmico é vislumbrada em duas perspectivas. A primeira diz respeito a disciplinas ministradas nos cursos de licenciatura em química e de áreas correlatas, nas quais metodologias de ensino e aprendizagem são apresentadas e discutidas com os futuros professores, bem como suas potencialidades e fragilidades. A estruturação dos capítulos, que coloca nas mãos dos licenciandos vários exemplos de estudos de caso e os associa a recomendações presentes em documentos curriculares nacionais, assim como a conceitos científicos e a questões sociocientíficas, favorece a compreensão sobre o método de estudo de caso e fornece subsídios para reflexões a seu respeito.

A segunda perspectiva de inserção do livro no ambiente acadêmico está vinculada à natureza dos problemas abordados em cada um dos estudos de caso, o que possibilita a sua aplicação em várias disciplinas de cursos de bacharelado em química e de áreas correlatas. Com efeito, problemas como os elencados a seguir perpassam alguns dos capítulos e são passíveis de resolução por estudantes com conhecimentos básicos de química, enquanto outros exigem conhecimentos avançados: como aproveitar comercialmente o soro do leite, resíduo gerado no processo de produção do queijo? Como incorporar retardantes de chama em espumas de poliuretano, minimizando os impactos ambientais e os riscos para a saúde humana? Quais alternativas apontar frente à escassez do elemento químico índio, o qual, na forma de ITO (óxido de índio e estanho), é um dos principais componentes da tecnologia das telas LCD (*liquid crystal display*)?

Para além da inserção nos cursos de graduação, o caráter interdisciplinar e a versatilidade dos estudos de caso tornam viável o uso do livro também na educa-

ção básica, sendo estabelecidas, ao longo do texto, várias relações entre os assuntos nele abordados e as demandas da Base Nacional Comum Curricular¹⁰.

Os estudos de caso presentes no livro são assim intitulados: *Férias mercuriosas; Quem dera fosse um verme...; Esmaltes: pintam a unha e o meio ambiente!; Vivendo e aprendendo sobre os cabelos naturais; Da casca ao plástico; El caso de papel; Soro: do lixo ao luxo; O bebê azul; Índio na TV; Chama o Gilmar!*

¹⁰ Brasil, Ministério da Educação, “Base Nacional Comum Curricular”, disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em: 26 dez. 2022.

ESTUDO DE CASO:

FÉRIAS MER-CURIOSAS

BRUNO ALVIM CHRISOSTOMO¹

RAFAEL CAVA MORI²

Julho, auge da estação mais fria do ano. Apesar de o clima estimular o descanso, permanecer embaixo das cobertas não parecia uma opção atrativa. Isso porque era também o primeiro dia das férias escolares, e Tennessine e Lutécio estavam animados: após um semestre bastante conturbado, repleto de tarefas escolares, não viam a hora de poder desfrutar de um dia livre para, finalmente, estrear a piscina que acabara de ser construída. As obras deveriam ter sido finalizadas no outono, mas houve um atraso na entrega dos materiais de construção. Para eles, o frio, no entanto, não era motivo para desânimo!

Sabendo da euforia das crianças, mas ao mesmo tempo preocupados com a saúde delas, seus pais, Túlio e Selenia, estabeleceram uma regra irrefutável: só seria permitido entrar na piscina com a temperatura da água acima de 20 °C.

Certo dia, porém, Túlio e Selenia não estavam em casa. As crianças teriam que, elas mesmas, aferir se a temperatura cumpria o valor permitido pela regra.

– Poderíamos usar o termômetro com o qual mamãe verifica se estamos com febre! – propôs Tennessine.

– Sim, boa ideia! – concordou Lutécio.

Os dois foram para a piscina portando um termômetro clínico antigo e contendo mercúrio. Tennessine deixou o instrumento na água por, aproximadamente, cinco minutos, como sua mãe costumava fazer quando media a temperatura das crianças. Mas, ao retirar o termômetro da água, veio a má notícia:

– Olha, parece que a piscina está mais fria do que precisamos... 16 °C!

– Ah, você deve estar medindo errado! Deixa comigo!

– Não!!! Eu sei como se faz e não posso ter errado!

1 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

2 Professor da Universidade Federal do ABC e doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Durante a discussão, os irmãos disputaram o termômetro e Tennesine, acidentalmente, deixou o objeto se espatifar. Que desastre! Não podia ser pior: o mercúrio de dentro do termômetro acabou no interior piscina.

Não podendo mais verificar a temperatura da água, as crianças aguardaram o retorno dos pais e relataram o ocorrido. Túlio e Selenia, sabendo da contaminação que o mercúrio poderia gerar, contatam a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para saber como proceder. Sempre muito prudentes, imaginavam que, por a piscina ter acabado de ser construída, não poderiam simplesmente retirar a água, pois as paredes tinham a possibilidade de ceder.

Você é um analista da CETESB e precisa sugerir ao menos dois métodos para descontaminar a água da piscina, tornando-a novamente segura para banho. Diante de suas sugestões, argumente a favor de uma delas.

1.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O tema do caso abrange problemas relacionados à contaminação ambiental, mais especificamente, à contaminação aquática por mercúrio. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, esse tipo de contaminante costuma provir, no Brasil, de efluentes industriais da fabricação de soda cáustica, da mineração do ouro na região amazônica, de queimadas de grandes áreas florestais e do descarte incorreto, no solo, de produtos que o contém³.

Assim, o caso propicia uma oportunidade para elevar a consciência e conhecimento dos estudantes quanto à exploração de recursos naturais. Também, favorece discussões quanto ao consumismo, que privilegia uma cadeia produtiva repleta de bens descartáveis, como por exemplo, as pilhas e baterias que mantêm os aparelhos eletrônicos operando – contendo, em muitos casos, mercúrio e outros possíveis contaminantes.

A narrativa favorece, especialmente, a abordagem de conteúdos referentes às vias de contaminação por mercúrio (nem sempre óbvias), bem como às reações fisiológicas do corpo humano dela decorrente. A via principal é o pulmão, por meio da inalação dos vapores desse metal⁴. Ele pode também ser absorvido atra-

3 Brasil, Ministério do Meio Ambiente, “Os riscos do mercúrio”, disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/os-riscos-do-mercuro>, acesso em: 26 dez. 2022.

4 Jung-Duck Park e Wei Zheng, “Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury”, *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, vol. 45, n. 6, pp. 344-352, 2012.

vés da pele, quando o metal está em forma líquida, ou mesmo como vapor. Uma vez contaminado, e a depender das formas de exposição, o corpo pode manifestar diferentes reações. Os efeitos da exposição aguda envolvem o aparelho respiratório, digestório e excretor, podendo ocorrer também alterações no sistema nervoso, em quadros graves, levando ao coma e mesmo à morte. Já a exposição crônica tem efeitos sobre a boca (de inflamações gengivais ao inchaço das glândulas salivares), a pele e o sistema nervoso. Entre os efeitos cognitivos e comportamentais, a partir de uma exposição crônica ao mercúrio, estão quadros de irritabilidade, perda de memória, alucinações, perda do autocontrole, insônia e até depressão⁵.

O tema do caso relaciona-se, adicionalmente, à área da toxicologia. Ou, mais precisamente, da ecotoxicologia, afinal, a contaminação por mercúrio está intimamente relacionada à maneira como esse metal atravessa diferentes níveis tróficos em um ecossistema. Quando uma substância não é metabolizada por uma espécie, seu predador – que consumirá diversos indivíduos de uma dada população inicialmente contaminada – tenderá a acumular essa mesma substância em seu organismo. O mercúrio, especificamente, é muito suscetível aos processos de bioacumulação e biomagnificação, os quais podem causar a exposição de seres humanos a quantidades significativas desse contaminante. Supondo que um contaminante não seja metabolizado por nenhum elo da cadeia alimentar, quanto mais distante certo nível trófico estiver do produtor, maior será a concentração da substância no indivíduo em questão. Ainda é possível imaginar diversas cadeias alimentares em que os seres humanos correspondem ao terceiro ou quarto nível trófico, consumindo peixes que se alimentam de outros peixes e espécies aquáticas previamente contaminadas⁶.

Além de disciplinas como química ambiental da água ou química das águas, ecotoxicologia aquática, poluentes químicos e ecotoxicologia ou toxicologia ambiental (já consolidadas em diversas matrizes curriculares de cursos de química ou de engenharia química de universidades brasileiras, especialmente nos que dispõem de ênfases em química ambiental), o tema do caso também estabelece elos com conteúdos clássicos do ensino de química. A caracterização do mercúrio enquanto metal pesado – com sua massa atômica de 200.592(3) u.m.a.⁷, a questão de sua solubilidade em água, além de possíveis métodos para identificá-lo e extraí-lo de soluções (como a precipitação e o emprego de sorventes), possibilitam que o caso tenha lugar também em disciplinas como química inorgânica ou química dos elementos, química analítica, análise instrumental e físico-química.

5 Thomas W. Clarkson, “The toxicology of mercury”, *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, vol. 34, n. 4, pp. 369-403, 2008.

6 Raphael A. Lavoie *et al.*, “Biomagnification of mercury in aquatic food webs: a worldwide meta-analysis”, *Environmental Science & Technology*, vol. 47, n. 23, pp. 13385-13394, 2013.

7 Michael E. Wieser *et al.*, “Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical Report)”, *Pure and Applied Chemistry*, vol. 85, n. 5, pp. 1047-1078, 2013.

O caso pode ser aplicado no ensino médio, desde que acompanhado de materiais suplementares. Para que os estudantes desse nível possam resolvê-lo, recomenda-se maior diretividade em sua aplicação, e certa restrição quanto aos procedimentos que poderiam estar incorporados às propostas de solução. Por exemplo, a chamada à ação, enfatizada abaixo do enunciado do caso, poderia ser reformulada como: “Você é um analista da CETESB e precisa sugerir ao menos dois métodos para descontaminar a água da piscina, tornando-a novamente segura para banho, e considerando que o seu laboratório dispõe de permanganato de potássio para isso”.

Para tornar a situação ainda mais interessante para os estudantes – sejam eles da educação básica ou da educação superior, deve-se considerar a possibilidade de que a proposta do caso se faça acompanhada de textos jornalísticos, ou especificamente de divulgação científica, expondo desenvolvimentos atuais sobre o assunto. Dessa forma, a aplicação do caso pode contemplar habilidades e processos diversos, como seleção de informações, capacidade de síntese, trabalho coletivo, argumentação, entre outros. Tais habilidades vão ao encontro do que preconizam as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química, principalmente no que tange à busca de informação, comunicação, expressão, e ao trabalho de investigação científica⁸.

1.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A narrativa proposta cumpre os requisitos para ser considerada como um bom caso, de acordo com os critérios elencados por Herreid *et al.*⁹.

Primeiramente, um bom caso precisa ser curto, o que é atendido plenamente: a estória de Tennesine e Lutécio não ocupa além de duas páginas. Para ser bom, o caso precisa, também, segurar a atenção do leitor. Isso é favorecido pela simplicidade do enredo, pautado numa situação bastante específica e verossímil. A questão subjacente e central à narrativa – será possível descontaminar a água de uma piscina que contém uma quantidade significativa de mercúrio elementar? – ajuda a sustentar o interesse do leitor, aguçando sua curiosidade.

Outro indicador de um bom caso é a presença de conflitos. O conflito principal, e mais evidente, se dá entre as duas crianças que, diferentemente do que

8 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

9 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

ocorre na maior parte dos casos apresentados neste livro, culmina em contato físico, causando a situação-problema. Mas há outro conflito, de natureza psicológica: a vontade dos personagens de entrar na piscina e a obediência às regras estabelecidas pelos pais.

Um bom caso deve também favorecer a empatia do leitor para com os personagens. Diversos elementos da narrativa em questão contribuem para isso. O conflito entre os irmãos e o próprio contexto (primeiro dia de férias escolares) podem despertar saudosas recordações de sua infância. Os diálogos, trocados em uma linguagem simples e compreensível, também contribuem para aproximá-los dos sujeitos da estória. Por fim, o caso lida com uma questão cotidiana e plausível, facilitando com que o leitor imagine compartilhar do mesmo universo que Tennesine, Lutécio e seus pais.

Quanto à estruturação, o caso alinha de forma clara o problema na narrativa, apresenta múltiplas alternativas de solução e encoraja a argumentação a favor da mais adequada entre elas. Ademais, o caso possui relevância pedagógica – outro critério que um bom caso deve cumprir, pois alia diversas habilidades que podem ser desenvolvidas no contexto da educação sistematizada (especialmente habilidades cognitivas e comunicativas) com a abordagem de conteúdos de química. Quanto a isso, deve-se observar que o caso apresentado, em termos pedagógicos, possui amplas possibilidades de aplicação, por garantir variados níveis de análise. Se é certo que formandos do curso de química – quer no bacharelado, quer na licenciatura – não devem encontrar obstáculos para propor soluções para o caso, acredita-se que mesmo alunos dos primeiros semestres de graduação já disponham dos requisitos para pesquisar, analisar, avaliar e tomar partido por algum método de descontaminação do mercúrio no ambiente aquático. Aliás, como já afirmado, a narrativa pode ser levada até mesmo para o ensino médio.

Finalmente, um bom caso precisa ser atual. Ora, o problema da contaminação de águas com mercúrio – mais do que uma questão exclusivamente ambiental, também é de natureza socioeconômica e de saúde pública – está na ordem do dia e, volta e meia, toma as páginas dos jornais.

Trata-se de um problema ambiental preocupante, que recebeu especial atenção desde a década de 1950, com o incidente do município japonês de Minamata¹⁰. Reportou-se ali a contaminação de aves, de animais domésticos e de milhares de pessoas (acometidas, principalmente, por problemas neurológicos e neuromusculares) em decorrência do lançamento de rejeitos industriais contendo mercúrio em águas que banhavam a localidade. Outro fato histórico envolvendo esse tipo de contaminante abarca, possivelmente, um contingente ainda maior de vidas humanas, em decorrência da exposição de sementes de trigo (para produzir

10 Rafaela Rodrigues da Silva *et al.*, “Convenção de Minamata: análise dos impactos socioambientais de uma solução am longo prazo”, *Saúde Debate*, vol. 41, pp. 50-62, 2017.

pão) a um fungicida à base de mercúrio, no Iraque, menos de vinte anos após o desastre de Minamata¹¹.

Os testemunhos históricos não se limitam ao caso do mercúrio, sendo abundantes os relatos de contaminação aquática e terrestre também por outros metais pesados, como cádmio, cobre, cromo e chumbo, resultantes da atividade de indústrias mineradoras, da agricultura, de termoeletricas a carvão e de metalúrgicas e fundições. Assim, é possível constatar mais alguns casos reportados e investigados na literatura, referentes a diversas localidades¹².

Eagles-Smith *et al.*¹³ citam que a contaminação por mercúrio está espalhada pelo oeste da América do Norte. A região, com uma morfologia espacial amplamente variada, apresenta uma situação complexa, envolvendo diferentes intervenientes na distribuição – bastante heterogênea – das maiores concentrações do elemento mercúrio na hidrosfera, principalmente na forma de metil-mercúrio. Para a análise da situação, os autores consideraram fatores ecológicos, biológicos e aqueles relativos à própria paisagem. Concluiu-se que controlar a produção de metil-mercúrio na região deve ser preferível, em comparação com o acompanhamento das fontes inorgânicas do metal, para diminuir a exposição das cadeias alimentares ao contaminante (considerando a questão da bioacumulação pelos sucessivos níveis tróficos, até alcançar os seres humanos).

Kaus *et al.*¹⁴ tratam da situação de uma bacia hidrográfica da Mongólia, a do Rio Kharaa. Ali houve contaminação por mercúrio e outros metais pesados graças à atividade de mineração do ouro, que se estende até os dias atuais. Os autores analisaram os teores desses metais na água, em sedimentos e na carne de cinco espécies de peixes da região. De acordo com os resultados, há quantidades perigosas nas amostras de mercúrio, arsênio, cromo, chumbo e zinco. Nada menos que 10% das amostras de peixes traziam quantidades de mercúrio muito acima do recomendável para o consumo humano, especialmente nas espécies de níveis tróficos maiores. Apesar do relativamente baixo consumo desse tipo de carne na região, seus habitantes – conclui o estudo – estão sujeitos à contaminação crônica por mercúrio, e outros metais, devido a outras fontes que não a alimentação.

11 Márcia Cristina Bisinoti e Wilson F. Jardim, “O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente”, *Química Nova*, vol. 27, n. 4, pp. 593-600, 2004.

12 João Carlos Morais de Araújo Júnior e Ricardo Pereira, “Evolução da contaminação por metais pesados em sedimentos em área estuarina do rio Capibaribe: uma revisão”, *Revista de Geografia (Recife)*, vol. 38, n. 1, pp. 236-253, 2021.

13 Collin A. Eagles-Smith *et al.*, “Mercury in western North America: a synthesis of environmental contamination, fluxes, bioaccumulation, and risk to fish and wildlife”, *Sciences of the Total Environment*, vol. 568, pp. 1213-1226, 2016.

14 Andrew Kaus *et al.*, “Regional patterns of heavy metal exposure and contamination in the fish fauna of the Kharaa River basin (Mongolia)”, *Regional Environmental Change*, vol. 17, pp. 2023-2037, 2017.

Outro caso envolvendo contaminação por mercúrio é relatado por Chen *et al.*¹⁵, no território chinês. A China, apesar (ou melhor, por causa) do grande crescimento econômico que experimentou nas últimas décadas, tem convivido com uma alta deterioração ambiental, que inclui a geoacumulação do mercúrio. Além desse metal, estão presentes no solo, em quantidades preocupantes, cádmio, arsênio, cromo, chumbo e níquel. A capital, Beijing, foi classificada como área de controle prioritário, dadas as altas concentrações de mercúrio.

Para além do contexto antropocêntrico, deve-se mencionar que a contaminação por mercúrio traz riscos até mesmo às plantas, podendo causar reações adversas em seu metabolismo. Entre esses efeitos estão redução de crescimento, menor produção de biomassa e bioacumulação do metal, o que pode prejudicar a produção alimentícia e, indireta e inevitavelmente, impactar o ser humano¹⁶.

Em suma, de forma não exaustiva, porém suficiente, justifica-se a relevância do tema proposto no caso.

1.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

1.3.1 PASSADO E TRAGÉDIA

O texto publicado no portal da revista *Ciência Hoje*¹⁷ foi a primeira fonte de inspiração para o caso. A matéria relata o que se passou em Minamata, a partir de 1956. Foi quando diversos pacientes, manifestando sintomas neurológicos, intrigaram os médicos. Ao mesmo tempo, observou-se que as aves se comportavam de forma estranha, e que outros animais, como cães e gatos, nasciam com deformidades. Por fim, esse conjunto de anomalias foi relacionado ao despejo de centenas de toneladas de mercúrio, resíduos da atividade de uma indústria, na baía de Minamata. O texto também narra, rapidamente, o que se passou no Iraque com a contaminação mercurial das sementes de trigo, nos anos de 1970.

15 Haiyang Chen *et al.*, “Contamination features and health risk of soil heavy metals in China”, *Science of the Total Environment*, vol. 512-513, pp. 143-153, 2015.

16 P. C. Nagajyoti, K. D. Lee e T. V. M. Sreekanth, “Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review”, *Environmental Chemistry Letters*, vol. 8, pp. 199-216, 2010.

17 Henrique Kugler, “Passado e tragédia”, *Ciência Hoje*, disponível em: <https://cienciahoje.org.br/acervo/passado-e-tragedia>, acesso em: 26 dez. 2022.

1.3.2 ACIDENTE DOMÉSTICO COM MERCÚRIO NO RIO DE JANEIRO

A segunda fonte de inspiração tem a ver com o cenário nacional, no estado do Rio de Janeiro, onde foi registrada uma ocorrência doméstica com mercúrio em 1996¹⁸. Em um edifício localizado na região urbana da capital fluminense, um morador mantinha, em sua garagem, cerca de quatro quilos de mercúrio metálico acondicionado em frascos plásticos. Após crianças espalharem acidentalmente parte desse conteúdo, deslocando-o mais tarde para uma cisterna que abastecia o edifício, um morador colheu amostras da água da torneira e da urina de outros residentes e as encaminhou para o Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana. As análises identificaram níveis preocupantes de mercúrio nas amostras de urina, indicando alguma exposição aguda dos moradores ao contaminante. O acontecimento chamou a atenção da opinião pública, à época, para a necessidade de esclarecer a população sobre os perigos relacionados à manutenção e ao manejo doméstico de substâncias químicas.

1.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Duas soluções podem ser consideradas as mais práticas e viáveis para a resolução do caso. A primeira é o método da separação física, visando recolher de forma segura o mercúrio espalhado na piscina. A segunda envolve o emprego de substâncias sorventes. Há, ainda, a possibilidade de combiná-las.

1.4.1 SEPARAÇÃO FÍSICA

Uma solução potencialmente eficiente para solucionar o caso envolve a separação física do mercúrio, uma vez que a densidade do mercúrio é mais de dez vezes maior que a da água¹⁹. Além disso, o metal elementar possui baixíssima

18 Josino C. Moreira *et al.* “A presença de mercúrio em casa constitui um risco de contaminação humana e/ou ambiental? Relato de um caso”, *Química Nova*, vol. 20, n. 4, pp. 420-422, 1997.

19 W. M. Haynes, David R. Lide e Thomas J. Bruno, *CRC handbook of chemistry and physics: a ready reference book of chemical and physical data*, 95. ed., Boca Raton, CRC Press, 2014.

solubilidade nesse meio, ou seja, estaria majoritariamente precipitado no fundo da piscina²⁰.

Dessa forma, uma ideia que pode ser proposta pelos alunos é a retirada do mercúrio metálico, com o auxílio de uma seringa, seguindo-se o adequado tratamento do metal. Nessa situação, a vantagem da técnica é a sua praticidade: dispor de uma seringa para fazer essa separação é uma ação simples. No entanto, a solução apresenta algumas desvantagens: apesar de permitir retirar quase totalmente o mercúrio da água, não é possível recuperar a pequena fração que foi solubilizada. Portanto, rigorosamente falando, a água da piscina ainda permaneceria contaminada, ainda que apresentando uma baixíssima concentração de mercúrio elementar. Além disso, considerando que o mercúrio recuperado na seringa ainda precisaria de tratamento adequado, a solução requer etapas posteriores.

Uma outra alternativa seria realizar a separação física após a aplicação de um método clássico de análise química: a precipitação por sulfeto^{21, 22}. Utiliza-se, então, o íon sulfeto – por exemplo, proveniente da dissociação iônica de sulfeto de sódio (Na_2S) –, que converte o mercúrio solubilizado a sulfeto de mercúrio (II) (HgS), insolúvel em água. A aquisição de sulfeto também não é difícil, mostrando que essa pode ser uma alternativa simples. No entanto, permanece, mesmo neste caso, a desvantagem de retirar o material residual do fundo da piscina, e de tratá-lo devidamente.

1.4.2 SORVENTES

Outra solução, que poderia ser proposta, é o uso de sorventes. Trata-se de materiais sólidos que possuem a propriedade de reter substâncias químicas em sua superfície. Essa retenção pode ocorrer por absorção, de modo que as substâncias de interesse atravessam a superfície que reveste o sorvente, e a extração é realizada por um processo de partição; e por adsorção, quando as substâncias ficam retidas na superfície do sólido sorvente. Para que seja possível retirar dos sorventes as substâncias de interesse retidas é necessária uma eluição, utilizando solventes apropriados, preferencialmente, que não alterem a composição nem do sorvente, nem dessas substâncias²³.

20 R. Von Burg, “Inorganic mercury”, *Journal of Applied Toxicology*, vol. 15, n. 6, pp. 483-493, 1995.

21 James R. Brown *et al.*, “Mercury removal from water by iron sulfide minerals. An electron spectroscopy for chemical analysis (ESCA) study”, *Environmental Science & Technology*, vol. 13, n. 9, pp. 1142-1144, 1979.

22 David M. Findlay e Ronald A. N. McLean, “Removal of elemental mercury from wastewaters using polysulfides”, *Environmental Science & Technology*, vol. 15, n. 11, pp. 1388-1390, 1981.

23 Flávia Viana Avelar Dutra, *Materiais sorventes empregados em diferentes métodos de preparo de amostras*, trabalho de conclusão de curso, São João del-Rei, Universidade Federal de São João del-Rei, 2014.

O emprego de sorventes pode ser apontado como uma solução preferível ao simples emprego da separação física, considerando a necessidade de remover apenas o mercúrio da piscina. Com efeito, o método apresenta como principal vantagem possibilitar a retirada total do mercúrio presente na água, solubilizado ou não no meio aquoso. No entanto, a escolha do melhor sorvente e a sua aplicação adequada requerem conhecimentos específicos.

Em um primeiro momento, poderia ser testada a adsorção em carvão ativado²⁴, como uma opção prática e viável. Há várias formas de carvão ativado e diversas maneiras de mobilizá-lo para a adsorção de compostos. Por exemplo, pode ser desejável tratá-lo previamente com compostos de enxofre, de forma a impregná-lo com diversas espécies sulfúreas que aumentam seu poder adsorvente, especialmente, grupos tióis²⁵.

O mercúrio líquido, em meio aquoso, é convertido em mercúrio elementar vaporizado e/ou em mercúrio bivalente em solução^{26, 27}. Nestas situações, o carvão ativado é bastante eficiente na remoção das duas formas citadas de mercúrio. Outras possibilidades discutidas na literatura, considerando o emprego de sorventes para reter mercúrio bivalente em solução aquosa, são: separação por membrana; precipitação; extração com solvente; troca iônica; osmose reversa. Porém, em comparação com o emprego do carvão ativado, esses métodos têm como desvantagem altos custos operacionais, incapacidade de remover completamente o mercúrio (II) da solução aquosa e, por fim, um alto consumo de reagentes químicos que, em certos casos, geram resíduos inconvenientes²⁸.

1.4.3 SEPARAÇÃO FÍSICA SEGUIDA DO USO DE SORVENTES

Provavelmente, a melhor solução para o caso deve envolver uma combinação das duas soluções anteriores. Assim, sugere-se a remoção física do mercúrio elementar que jaz no fundo da piscina, utilizando-se uma seringa. Se possível,

24 S. V. Krishnan, Brian K. Gullett e Wojciech Jozewicz, "Sorption of elemental mercury by activated carbons", *Environmental Science & Technology*, vol. 28, n. 8, pp. 1506-1512, 1994.

25 Jin-Gang Yu *et al.*, "Removal of mercury by adsorption: a review", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 23, pp. 5056-5076, 2016.

26 Marc Amyot, Gary A. Gill e François M. M. Morel, "Production and loss of dissolved gaseous mercury in coastal seawater", *Environmental Science & Technology*, vol. 31, n. 12, pp. 3606-3611, 1997.

27 R. P. Mason, W. F. Fitzgerald e F. M. M. Morel, "The biogeochemical cycling of elemental mercury: anthropogenic influences", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 58, n. 15, pp. 3191-3198, 1994.

28 Mohammad A. Al-Ghouti *et al.*, "Adsorptive removal of mercury from water by adsorbents derived from date pits", *Scientific Reports*, vol. 9, n. 15327, 2019.

nessa remoção, deve-se evitar o contato com a água, por precaução, considerando a possibilidade de haver pequenas quantidades de mercúrio dissolvido. Tais quantidades, que não são insignificantes, podem ser removidas com o uso de carvão ativado proveniente de casca de semente de palmeira, modificado para a introdução de grupos tióis em sua superfície²⁹.

O descarte do mercúrio elementar da seringa e a remoção do carvão ativado da piscina devem ser conduzidos apropriadamente, de acordo com os procedimentos padronizados e reconhecidos.

Mas a solução exige mais uma etapa. Presume-se haver pequenas quantidades de mercúrio elementar que não se oxida em água e passa a compor a atmosfera, ou seja, que sai da água da piscina em direção ao ar que a circunda. Uma cobertura para a piscina, com uma bomba de ar contendo carvão ativado como filtro resolveria esse problema. Para o filtro, recomenda-se outra variedade de carvões ativados, dessa vez, aqueles impregnados com iodo e cloro³⁰.

1.5 PARA SABER MAIS

1.5.1 CONTAMINAÇÃO POR MERCÚRIO E O CASO DA AMAZÔNIA

Partindo de uma breve caracterização das propriedades do mercúrio e de seus compostos, os autores do artigo³¹ comentam dados relativos à toxicidade do metal e ao seu ciclo biogeoquímico. São detalhados os aspectos ecológicos, com atenção para o fato de que peixes situados em níveis tróficos mais altos bioacumulam mercúrio em quantidades elevadas, sendo justamente alguns dos mais consumidos pelas populações ribeirinhas do Amazonas. De fato, pesquisas apontam que tais populações estão expostas a esse tipo de contaminante, havendo muitos indivíduos com elevadíssimos teores de mercúrio em seus tecidos. Por fim, os autores enumeram algumas soluções já propostas para o problema.

29 Ahmed Abu Ismaiel, Mohamed Kheireddine Aroua e Rozita Yusoff, "Palm shell activated carbon impregnated with task-specific ionic-liquids as a novel adsorbent for the removal of mercury from contaminated water", *Chemical Engineering Journal*, vol. 225, pp. 306-314, 2013.

30 Sung Jun Lee *et al.*, "Removal of gas-phase elemental mercury by iodine-and chlorine-impregnated activated carbons", *Atmospheric Environment*, vol. 38, n. 29, pp. 4887-4893, 2004.

31 Jurandir Rodrigues Souza e Antônio Carneiro Barbosa, "Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia", *Química Nova na Escola*, vol. 12, pp. 3-7, 2000.

1.5.2 CONTAMINAÇÃO ALÉM DO GARIMPO

O artigo³² mostra que a contaminação de águas por mercúrio pode afetar populações inteiras, muitas delas em situação de vulnerabilidade social. Pesquisadores brasileiros e espanhóis, analisando amostras de fios de cabelo de ribeirinhos e indígenas do Norte do país, identificaram altas concentrações desse metal. Isso sugere que tais povoados sofrem uma exposição constante ao mercúrio. É provável que a alimentação, baseada em peixes, seja a causa direta dessa exposição. Indiretamente, as causas do problema estão relacionadas às usinas hidrelétricas na bacia hidrográfica do Amazonas.

32 Rodrigo de Oliveira Andrade, “Contaminação além do garimpo”, *Pesquisa FAPESP*, n. 265, pp. 61-63, 2018.

ESTUDO DE CASO: QUEM DERA FOSSE UM VERME...

CARLA ANDREA MOREIRA¹

JANAÍNA CONCEIÇÃO DE ASSIS²

GUILHERME BALESTIERO DA SILVA³

A Câmara Municipal de São Paulo aprovou, em abril de 2019, o projeto de lei de que proíbe o fornecimento de canudos plásticos e segue medidas adotadas em outras cidades, como Fortaleza, Salvador, Rio de Janeiro, Camboriú, Santos e Ilhabela, além de todo o estado do Rio Grande do Norte. Enquanto isso, durante uma manhã ensolarada na Praia do Futuro, em Fortaleza, Marina começa a contar para sua amiga Kethelyn sobre um vídeo chocante que viu no Facebook®:

– Amiga, foi difícil ver o vídeo até o fim. Era realmente horrível!

– Fala logo, o que tinha nesse vídeo?

– Apareciam mergulhadores que tiraram uma tartaruga marinha da água e perceberam um objeto em sua narina. Eles pensaram que poderia ser um verme e quiseram tirar.

– Um verme? Que nojo!

– Quem dera fosse um verme, *miga*. Na verdade eles tiraram uma parte e cortaram para ver o que era, e descobriram que era um canudo plástico desses de tomar refrigerante.

– Que estranho, e eles conseguiram tirar?

– Sim, mas deu pra perceber que foi muito dolorido.

Nesse momento, as duas, sensibilizadas com a história da tartaruga, ouvem o ambulante, Zé do Coco, passando e gritando:

– Olha que *tá* passando o Zé do Coco, aquele que tem coco geladinho e vem junto um canudinho.

Kethelyn, muito revoltada, afirma:

1 Mestre pelo Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

2 Mestranda do Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

- *Tai!* Encontramos o culpado!
- Calma, também não é assim. Como ele vai vender o coco sem canudinho? – disse Marina, que logo é rebatida por Kethelyn:
- É só colocar em garrafinhas, ué.
- *Miga, péra!* E a garrafa é feita de quê?
- *Afê*, verdade!
- Ah, já sei. Talvez a gente precisasse pensar em uma solução para o Zé do Coco substituir os canudos de plástico.
- Esse não é meu plano para hoje não. Vamos fazer assim, *miga*: eu vou até a água e fico me refrescando e, se por acaso, encontrar um canudo por lá eu trago comigo, e você fica aqui procurando uma alternativa para o Zé do Coco substituir os canudos.
- Nossa, que superamiga você, hein?! Pois pode deixar que eu vou dar um jeito nisso. Tenho uma tia que é engenheira e acho que ela pode me ajudar a proteger o mergulho das tartarugas na Praia do Futuro.

Suponha que você seja a tia da Marina, quais seriam as possíveis alternativas para substituição dos canudos plásticos no comércio que indicaria? Argumente a favor de uma delas.

2.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

Os plásticos estão presentes no cotidiano das pessoas nas mais variadas formas. Grande parte da expansão do seu uso pode ser atribuída, justamente, à enorme versatilidade que possuem: com esse material são confeccionados diferentes artigos e objetos a custo reduzido e, conseqüentemente, mais acessíveis à população em geral. Contudo, tal cenário, economicamente favorável, conduziu a um contexto de consumo desenfreado do plástico, o que, por sua vez, tem culminado em diversos impactos sociais e ambientais. Hoje, dificilmente seria possível viver sem ele, pois é encontrado em embalagens, brinquedos, móveis, tecidos, automóveis etc.

Diante da versatilidade do referido material, de acordo com pesquisadores norte-americanos, o mundo já produziu 8,9 bilhões de toneladas de plástico desde 1950, dos quais 2,6 bilhões (~29%) permanecem em uso e 6,3 bilhões (~71%) já foram descartados. Quanto às finalidades dos materiais descartados, apenas seiscentos milhões, isto é, aproximadamente 6,7% de todo plástico produzido, foram direcionados à reciclagem. Outros oitocentos milhões (~9,0%) sofreram

incineração durante esse período, e 4,9 bilhões (~55%) se acumulam em aterros sanitários e na natureza⁴.

Dados como os apresentados anteriormente, associados ao que foi relatado na narrativa, evidenciam a pertinência deste caso para a abordagem de questões sociocientíficas (QSC) em salas de aula de ciências naturais. Tratando de problemáticas que abarcam conceitos ou procedimentos científicos vinculados ao cotidiano, a abordagem de questões dessa natureza contribui para a formação de cidadãos que entendam a natureza da ciência, assim como as aplicações e implicações sociais, políticas e econômicas do conhecimento científico⁵. A abordagem de QSC em sala de aula tem sido sugerida por diferentes autores como favorável ao desenvolvimento de valores éticos e morais dos estudantes, o que tem se mostrado de grande relevância na sociedade contemporânea⁶.

Com relação à pertinência das QSC no ensino de ciências, as potencialidades didáticas oriundas da aplicação deste caso em sala de aula estão alinhadas com o que é estabelecido pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o ensino médio⁷. De acordo com o documento, no contexto das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a aplicação do caso favorece o desenvolvimento da seguinte competência específica:

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 condições de vida em âmbito local, regional e/ou global (p. 539).

Cabe destacar que, com o desenvolvimento da referida competência, o indivíduo pode ser capaz de analisar os fenômenos naturais e os processos tecnológicos sob outra perspectiva: a das relações entre matéria e energia. Por conseguinte, torna-se apto a avaliar as potencialidades, limites e riscos do uso de diferentes materiais, e aqui ganha evidência o plástico, abordado na narrativa.

Particularmente ao ensino de química, mais especificamente, no ensino médio, a QSC relatada no caso viabiliza a abordagem de uma grande variedade de

4 Roland Geyer, Jenna R. Jambeck e Kara Lavender Law, “Production, use, and fate of all plastics ever”, *Science Advances*, vol. 3, n. 7, e17007827, 2017.

5 Dália Melissa Conrado e Nei Nunes-Neto, *Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas*, Salvador, EDUFBA, 2018.

6 Guilherme Balestiero da Silva e Salete Linhares Queiroz, “Sensibilidade moral de licenciandos em química diante de um conflito ético na prática científica”, *Química Nova na Escola*, vol. 41, n. 1, pp. 69-81, 2019.

7 Brasil, Ministério da Educação, “Base Nacional Comum Curricular”, disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em: 26 dez. 2022.

conteúdos. De fato, ao retratar uma situação envolvendo canudos plásticos e o bem-estar de tartarugas marinhas, o caso relaciona situações do cotidiano com o conhecimento de polímeros e suas propriedades e o ciclo da vida dos produtos. Assim sendo, para a sua resolução, o estudante deve recorrer a diferentes conceitos relacionados ao ensino de química. Isto é, deve reconhecer, dentre outros aspectos, do que os plásticos são feitos e as propriedades que permitem a sua utilização em forma de canudos para o consumo humano, quais materiais conferem propriedades semelhantes, ou ainda, tomar conhecimento do ciclo de vida dos materiais e estabelecer alternativas viáveis para a utilização e descarte de produtos.

Nessa perspectiva, tomando como referência a Matriz Curricular do Ensino Médio para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, elaborada pela Secretaria de Educação do Estado de São Paulo⁸, a utilização do caso em questão abarca conhecimentos relativos à unidade curricular um da segunda série, intitulada Projeto Casa Sustentável, a qual sugere para o ensino de química a abordagem da temática Recursos e Sustentabilidade. Com base ainda na mesma Matriz, a situação relatada no caso alinha-se ao que é sugerido na unidade curricular seis da terceira série, denominada Projeto Economia Circular, em que cabe ao ensino de química o tratamento de questões pertinentes aos produtos e processos de baixo impacto.

Com possibilidade de aplicação em diferentes níveis de ensino, o caso aqui relatado também encontra aplicações no ensino fundamental. Ademais, para este nível de ensino, a rede municipal da cidade de São Paulo produziu o documento denominado Currículo da Cidade - Ciências Naturais⁹, implementado em 2018. O estudo de caso aqui relatado apresenta potencial em contemplar os objetivos de aprendizagem e desenvolvimento para o Ciclo Interdisciplinar no Ensino Fundamental, o qual compreende o intervalo do quarto ao sexto ano.

Sendo assim, os objetivos de aprendizagem e desenvolvimento a serem atendidos com o estudo de caso, quando para turmas de quarto ano, são: “identificar e classificar os recursos naturais em renováveis e não renováveis; reconhecer os agentes poluidores do ambiente e propor soluções para amenizar os impactos ambientais” (p. 95). E, para as turmas de sexto ano do Ciclo Interdisciplinar: “analisar e interpretar dados sobre propriedades dos materiais; coletar e analisar informações sobre os impactos provocados pelas ações antrópicas (uso, exploração e descarte de resíduos), considerando o tempo de decomposição dos materiais” (p.99).

8 São Paulo, Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, “Matriz Curricular do Novo Ensino Médio”, São Paulo, SE, 2020.

9 São Paulo, Secretaria Municipal de Educação, Coordenadoria Pedagógica, “Currículo da Cidade: Ensino Fundamental: Ciências Naturais”, São Paulo, SME/COPED, 2018.

No que tange ao ensino superior de química, o caso encontra aplicação nas mais variadas disciplinas endereçadas, por exemplo, ao estudo da química orgânica e bioquímica, ou ainda, da química de materiais. Em contraponto às Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química, este estudo de caso é interessante para o atendimento do que se espera de um químico em relação ao trabalho de investigação científica e produção/controle de qualidade: “possuir conhecimento da utilização de processos de manuseio e descarte de materiais e de rejeitos, tendo em vista a preservação da qualidade do ambiente” (p. 5)¹⁰.

Isto exposto, é evidente a vasta aplicabilidade didática do caso narrado, o qual apresenta a ciência, em particular tópicos de química, envoltos em um dilema social que compreende fatores econômicos, científicos e ambientais. Por sua vez, o caso e sua resolução permitem o tratamento de temáticas que promovam a aproximação do estudante com a natureza da ciência e seus impactos socioambientais. Promover esse tipo de discussão é relevante quando esta é capaz de suscitar reflexões sobre uso e descarte de resíduos, entretanto, o tipo de discussão deve superar aspectos do senso comum, e ser capaz de revelar a complexidade que esse tema apresenta.

2.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Considerando a narrativa e as características elencadas por Herreid *et al.*¹¹ para a determinação de um bom caso, verifica-se a presença de grande parte delas, se não todas, na narrativa. O tema escolhido para ser discutido no caso é atual e de relevância sociocientífica. No ano de 2018, um vídeo ganhou bastante atenção nas redes sociais por explorar a imagem do sofrimento de um animal aquático carismático e que desperta simpatia dos mais diferentes públicos: a tartaruga marinha. O vídeo mostrava a retirada de um objeto da narina de uma tartaruga, posteriormente identificado como um canudo plástico, o que acabou por promover uma discussão na sociedade sobre o descarte e destino de materiais plásticos e as suas consequências para a vida marinha.

O caso atende os atributos propostos pelo referido autor no que se refere à extensão, tratando-se de uma caso curto e de fácil assimilação. É composto por uma narrativa, recheada de diálogos, protagonizada por duas personagens principais:

10 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

11 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

Marina e Kethelyn. Além disso, existe a presença de mais duas personagens: o vendedor ambulante Zé do Coco, que representa o antagonista do enredo, e a tia da Marina, que representa a fonte técnica responsável pelo discurso de autoridade: o da ciência. Com isso, o leitor é convidado a ocupar o papel da personagem que ficará responsável pela busca das possíveis respostas ao caso.

Considerando a importância de discutir QSC no ambiente escolar, o caso tem potencial para provocar uma reflexão abrangente e fundamentada quando provoca um conflito entre o interesse de mercado e a preocupação com a preservação ambiental. Como consequência, o estudante é colocado em uma situação em que precisa se posicionar, ou melhor, se propor a pensar em alternativas para buscar o equilíbrio entre aspectos culturais humanos, a preservação dos ambientes aquáticos e a manutenção da renda do vendedor ambulante.

Ademais, este caso permite generalizações, uma vez que é possível identificar a situação retratada como corriqueira no cotidiano dos mais diferentes contextos e níveis da sociedade. A temática do lixo é um assunto presente na rotina humana, independentemente de classe social e de condição econômica. No que se refere aos aspectos pedagógicos, para a promoção de um ensino de ciências comprometido com o pensamento crítico e formação de cidadãos autônomos e tomadores de decisões, o caso permite a abordagem de conceitos relevantes.

2.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

O vídeo relatado na narrativa é de fato verídico, e após a sua circulação em redes sociais como o Facebook®, diversas mídias passaram a veicular o assunto, aguçando a discussão a respeito do descarte adequado de materiais plásticos. Por sua vez, essa discussão implicou em um Projeto de Lei aprovado pelo município de São Paulo em abril de 2019, que tem como objetivo a proibição da distribuição de canudos plásticos. Nessa perspectiva, são salientadas, a seguir, as fontes de inspiração para a construção do estudo de caso.

2.3.1 EQUIPE DE PESQUISA SALVA TARTARUGA MARINHA COM CANUDO PRESO NO NARIZ

Como já mencionado, toda a discussão e, consequentemente, o Projeto de Lei discutido na notícia publicada pelo jornal Último Segundo, tem sua origem, principalmente, no vídeo disponibilizado na plataforma Youtube® sob o título

“Equipe de pesquisa salva tartaruga marinha com canudo preso no nariz”¹². Esse vídeo curto, que exibe a retirada de um canudo plástico da narina de uma tartaruga, circulou nas principais redes sociais e também em emissoras de televisão aberta, e consiste em uma das fontes de inspiração para o caso.

2.3.2 PROIBIR CANUDO PLÁSTICO ACENA PARA PRESERVAÇÃO, MAS CUSTO DEVE CHEGAR AO CIDADÃO

Publicado online, o texto¹³ discorre sobre a referida legislação municipal da cidade de São Paulo que visou à proibição do fornecimento de canudos plásticos ao consumidor, seguindo medidas já adotadas em outras capitais do Brasil como Rio de Janeiro, Fortaleza e Salvador. Para tanto, a publicação aborda a problemática da produção de resíduos plásticos e, em especial, os de uso único, e discute as questões relacionadas aos custos econômicos, ambientais e sociais da produção e do descarte do plástico no mundo.

2.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Para a resolução do caso diversos aspectos devem ser levados em consideração, tais como os econômicos, relacionados à obtenção e distribuição dos canudos pelo vendedor Zé do Coco. Diante dos diferentes fatores envolvidos na busca por uma solução para a narrativa, alternativas aos canudos plásticos convencionais têm sido apresentadas e testadas.

De acordo com o *National Geographic*, revista pertencente à *National Geographic Society*¹⁴, a partir do vídeo perturbador do canudo retirado da narina de uma tartaruga marinha, redes hoteleiras, que iniciaram sua própria proibição de canudos plásticos, já adotaram uma quantidade significativa de soluções descartáveis. Uma das mais populares diz respeito aos canudinhos de papel, os quais levam,

12 “Equipe de pesquisa salva tartaruga marinha com canudo preso no nariz”, disponível em: <https://youtu.be/MU2Fvt3xW5s>, acesso em: 26 dez. 2022.

13 Matheus Colaço, “Proibir canudo plástico acena para preservação, mas custo deve chegar ao cidadão”, *iG São Paulo*, 22 maio 2019, disponível em: <https://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/meioambiente/2019-05-22/proibir-canudo-plastico-acena-para-preservacao-mas-custo-deve-chegar-ao-cidadao.html>, acesso em: 26 dez. 2022.

14 Deborah Lev-Tov, “O fim do canudinho de plástico”, *National Geographic Newsletter*, 5 jul. 2018, disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/planeta-ou-plastico/2018/07/fim-canudinho-plastico-canudo-poluicao-oceano>, acesso em: 26 dez. 2022.

em média, trinta a sessenta dias para decomposição. Canudos biodegradáveis de origem vegetal, como o milho, também despontam como uma alternativa viável ao caso. Na sequência, são apresentadas três opções que a tia de Marina poderia apresentar ao Zé do Coco.

2.4.1 DISTRIBUIÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CANUDOS DURÁVEIS/REUTILIZÁVEIS

Recorrendo à durabilidade dos materiais, a utilização de canudos reutilizáveis corresponde a uma alternativa válida. Comumente feitos de polipropileno ou poliestireno, derivados do petróleo (combustível fóssil não renovável), os canudos de plástico convencionais têm uma vida útil de aproximadamente quatro a dez minutos, ou seja, após o consumo da bebida estes são prontamente descartados¹⁵. Face a essa situação, optar por materiais que poderão ser utilizados novamente, portanto, com maior tempo de vida útil, reduziria significativamente a quantidade de canudos descartados no meio ambiente.

Canudos feitos de metal, bambu, vidro ou personalizados são opções que oferecem menor impacto ambiental, pois não favorecem o hábito de descarte do material e podem ser reutilizados inúmeras vezes, sem a necessidade de reposição. Existem hoje diversos modelos de canudos metálicos disponíveis no mercado. Não tóxicos, podem ser feitos de inox, aço cirúrgico e/ou alumínio¹⁶. Contudo, também há contrapontos à sua utilização, por serem conhecidos como bons condutores, canudos de metal podem esquentar ou resfriar rapidamente, de acordo com a bebida consumida.

Apesar da sua conveniência, outros aspectos devem ser considerados quando é feita a opção pela utilização de canudos reutilizáveis. Em primeiro lugar, a sua aquisição por Zé do Coco implicaria em um gasto maior, o que poderia influenciar negativamente no lucro ao final do dia. Além disso, o uso de canudos reutilizáveis suscita que o consumidor, de fato, leve-os sempre consigo. Contudo, considerando o contexto de praia onde Zé do Coco trabalha, é pouco comum que os banhistas portem esse tipo de material. Logo, por mais que o consumidor tenha um canudo reutilizável em casa, Zé do Coco sempre teria que disponibilizá-lo aos banhistas para efetuar a venda.

Cabe destacar que a forma como a economia opera na sociedade moderna é a circulação rápida dos materiais para sua reposição e lucros imediatos. No entanto, esse processo produz uma ideia de recursos naturais infinitos, sem problema-

15 “Mundo declara guerra ao canudo de plástico, um dos principais vilões do meio ambiente”, *G1*, 8 jun. 2018, disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-44419803>, acesso em: 26 dez. 2022.

16 Stella Legnaioli, “Razões para adotar o canudo reutilizável”, *ecycle*, disponível em: <https://www.ecycle.com.br/canudo-reutilizavel/>, acesso em: 26 dez. 2022.

tizar aspectos envolvidos desde a extração até o descarte, que envolvem diferentes impactos ambientais e sociais. Por isso, a ideia de interrupção desse ciclo de consumo-descarte é o principal alvo que a educação ambiental busca tratar para que exista consciência desses processos, para que a adoção de novos hábitos possa ser uma alternativa. O que precisa mudar é a forma como o sistema de produção predatória funciona. Dessa maneira, provocar reflexões a respeito ajuda a esclarecer a população sobre a extensão dos problemas e estimular a proposição de políticas públicas e cobrança de mudanças, tendo em vista a sustentabilidade: equilíbrio entre o social (Zé do Coco que depende das vendas para viver), ambiental (menor impacto nos ecossistemas aquáticos) e desenvolvimento (geração de renda e equilíbrio com base em uma economia de forma justa).

2.4.2 DISTRIBUIÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CANUDOS COMESTÍVEIS

E se, ao terminar a bebida, o consumidor, ao invés de descartar ou guardar para utilizações futuras, pudesse comer o canudo? Esse é a ideia empregada pela SORBOS¹⁷, uma *startup* espanhola que desenvolveu e disponibiliza para o mercado a venda de canudos que se mantêm sólidos por até 24 minutos, e são feitos à base de amido de milho, açúcar e gelatina. Estes podem ter sabores, tais como morango, laranja e limão, o que por sua vez, não afeta o paladar da bebida. No Brasil algumas empresas e restaurantes já fazem uso desse canudo¹⁸, no entanto, o custo, comparativamente aos canudinhos de plástico tradicionais, é significativamente maior para o vendedor, o que poderia limitar as vendas de Zé do Coco.

A proposição de canudos que não necessitassem de descarte, mas que poderiam ser considerados como item alimentício, também se configura como uma opção de resolução ao estudo de caso. Para essa opção, as fontes de produção seriam minimizadas, uma vez que se trata de açúcar em sua constituição química, o qual é comumente utilizado pela indústria de alimentos. Entretanto, pessoas com restrição alimentar não poderiam ingeri-lo ao final da bebida, mas poderiam descartá-lo sem a consequência de tempo de decomposição do material, pois estes também são 100% biodegradáveis, o que leva à terceira alternativa aos canudos de plástico: os canudos biodegradáveis ou oxibiodegradáveis.

17 Daniel Guimarães, “Canudo comestível: iniciativa sustentável para combate ao plástico”, 18 setembro 2019, disponível em: <https://meiosustentavel.com.br/canudo-comestivel/>, acesso em 30 jan. 2023.

18 Paula Monteiro, “Sustentável e saboroso: canudinho comestível é realidade em São Paulo”, *G1*, 25 ago. 2019, disponível em: <https://g1.globo.com/economia/pme/pequenas-empresas-grandes-negocios/noticia/2019/08/25/sustentavel-e-saboroso-canudinho-comestivel-e-realidade-em-sao-paulo.ghtml>, acesso em: 26 dez. 2022.

2.4.3 DISTRIBUIÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CANUDOS BIODegradáveis E OXIBIODegradáveis

Com a possibilidade de serem destruídos por micro-organismos do próprio meio, materiais biodegradáveis contam com um tempo de vida na natureza significativamente menor do que os materiais convencionais. Ao contrário dos sintéticos, derivados exclusivamente do petróleo, produtos biodegradáveis se decompõem com relativa facilidade, integrando-se à natureza. Um composto é biodegradável se, quando disponível no meio, os micro-organismos de ocorrência natural, como bactérias, fungos e algas, são capazes de convertê-lo em substâncias mais simples¹⁹, o que é interessante quando consideradas as estruturas químicas dos plásticos.

A biodegradabilidade desses compostos advém da substituição de matérias-primas e/ou da combinação de materiais. Portanto, polímeros biodegradáveis, além de originarem-se de combustíveis fósseis, podem ser obtidos a partir de outras fontes, como as renováveis (milho, batata, cana-de-açúcar etc.). Quando originado de fontes renováveis como estas, o descarte adequado na natureza promove a formação de um ciclo de vida fechado. Um tipo de canudo biodegradável que se torna possível, a partir da síntese de ácido láctico proveniente da cana, é aquele feito de poliácido láctico/polilactato (PLA)²⁰, o qual, com alto índice de biodegradabilidade, é derivado de fontes naturais como milho, mandioca, beterraba etc.

Um pouco diferente dos somente biodegradáveis, os produtos oxibiodegradáveis contam com a presença de fatores abióticos, como a radiação solar, para além da ação dos micro-organismos, a fim de que possa haver sua degradação. Em geral, plásticos oxibiodegradáveis possuem aditivos/catalisadores que aceleram sua degradação oxidativa na presença de luz ou calor²¹.

Apesar das vantagens oriundas da utilização de produtos biodegradáveis e oxibiodegradáveis, esta alternativa pode ser considerada a menos viável, ao se pensar que existe uma demanda de produção desses canudos e uma não problematização da questão do seu descarte. Isso quer dizer que a equipe apenas substituiria o plástico, desconsiderando que a principal fonte do problema refere-se à forma como os sujeitos consomem os materiais e os descartam, sem a

19 José Marcelo Cangemi, Antonia Marli Santos e Salvador Claro Neto, “Biodegradação: uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos”, *Química Nova na Escola*, n. 22, pp. 17-21, 2005.

20 Ana Carolina Salgado de Oliveira e Soraia Vilela Borges, “Poli (ácido láctico) aplicado para embalagens de alimentos: uma revisão”, *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, vol. 15, n. 1, pp. 1-10, 2020.

21 Yuri Vasconcelos, “Degradação difícil”, *Pesquisa FAPESP*, n.152, pp. 76-77, 2008.

responsabilização desse hábito construído. E, conforme evidenciado, o ciclo só se fecha na natureza quando ocorre o descarte adequado destes materiais, isto é, quando encaminhados para a compostagem. Ainda, há controvérsias quanto à sua diferença de tempo de decomposição em relação ao plástico convencional.

2.5 PARA SABER MAIS

2.5.1 PLANETA PLÁSTICO

Com base em diferentes projetos financiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), esse texto de divulgação científica²² apresenta um apanhado geral sobre a situação do plástico no mundo, contrapondo as inúmeras facilidades resultantes da produção do material polimérico com os problemas socioambientais observados atualmente.

2.5.2 A PROMESSA DOS BIOPLÁSTICOS

Frente às discussões envolvendo as consequências da poluição por plásticos, nesse texto de divulgação científica²³ são reportadas algumas alternativas ao material sintético, as quais compreendem diferentes tipos de bioplásticos ou biopolímeros. Por sua vez, o autor salienta que, apesar de variedade de opções que têm surgido, os novos materiais produzidos a partir de fontes renováveis, tais como o milho, ainda precisam ganhar destaque.

22 Yuri Vasconcelos, “Planeta plástico”, *Pesquisa FAPESP*, n. 281, pp. 18-24, 2019.

23 Frances Jones, “A promessa dos bioplásticos”, *Pesquisa FAPESP*, n. 290, pp. 73-76, 2020.

ESTUDO DE CASO: ESMALTES: PINTAM A UNHA E O MEIO AMBIENTE!

ANABEL KOVACS¹

LUÍS FELIPE EXNER²

MIKEAS SILVA DE LIMA³

Após lavar a louça do almoço, Patrícia olha para suas unhas e percebe que estão horrorosas. Ela, mais que depressa, liga para a sua amiga Ana, manicure, e agenda para fazer as unhas no dia seguinte. Naquela mesma noite, enquanto assistia ao jornal, uma matéria sobre o descarte de esmaltes chama sua atenção:

O Brasil destaca-se na produção e venda de esmaltes. O mercado está sempre se transformando e as pessoas consomem as novidades antes mesmo de usar as unidades que já possuem. Adicionalmente, em 2021, foram formalizadas mais de 3,9 milhões de microempresas por meio de registro de Microempreendedores Individuais (MEI), um número 19,8% maior que em 2020. Cabeleireiros, manicures e pedicures correspondem a uma grande parcela desses novos registros, totalizando 134 mil novos MEI no ramo, em 2021. Com isso, surgem também algumas responsabilidades, como o descarte correto dos materiais e esterilização de objetos. Ainda não há legislação vigente sobre o descarte de esmaltes, somente sobre o descarte de materiais como espátulas e higienização de toalhas.

No dia seguinte, com a notícia em mente, Patrícia ficou curiosa para conhecer a forma como o descarte do esmalte seria realizado e resolveu perguntar sobre isso para a sua amiga manicure:

– Ana, o que você faz com os esmaltes quando estão grudentos?

- 1 Mestranda do Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.
- 2 Ex-aluno de Mestrado do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.
- 3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

– Quando eles estão ficando duros? Então, quando dá tempo, eu junto todos e coloco fogo lá no fundo do quintal do salão, depois jogo os vidros no lixo mesmo. Quando não dá, eu jogo ali no terreno, no fim da rua. Cobrando trinta reais a mão, não tenho tempo para ficar pensando muito nisso.

– Nossa, mas você não sabe o quanto isso prejudica o meio ambiente?

– Mas o que você quer que eu faça? Não usar mais esmaltes? Só ter uma opção de cor?

– Ah não sei, mas acho que dessa forma não está certo.

– Vamos logo fazer essa unha mulher, que ainda tenho mais cinco clientes hoje.

Patrícia ficou preocupada com essa questão, como será que é o descarte correto? Será que existem alternativas ao esmalte tradicional?

Como você ajudaria a Patrícia a resolver esse problema? Procure possíveis soluções e argumente a favor de uma delas.

3.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso trata do descarte inadequado de esmaltes e das responsabilidades socioambientais de microempreendedores, um tema com o qual os estudantes podem facilmente se relacionar. A atividade de pintar as unhas sempre foi algo recorrente na sociedade e, embora o uso de esmaltes encontra espaço especialmente entre as mulheres, ultimamente pessoas de todos os gêneros têm aderido a essa prática⁴. Além disso, pintar as unhas não é uma atividade que se limita aos salões de beleza, a ser realizada somente com profissionais especializados, já que várias pessoas colorem as unhas por conta própria, no conforto das suas casas, ou ainda recebem manicures em domicílio. Apesar da sua popularidade, pouco se fala sobre o manejo adequado dos resíduos atribuídos à prática de pintar as unhas.

Sendo a temática de interesse dos estudantes, a aplicação do caso pode estimular o desenvolvimento de diferentes habilidades e competências presentes na Base Nacional Comum Curricular (BNCC)⁵, em concordância com o pensamento de que a “educação deve afirmar valores e estimular ações que contribuam

4 Gabriel Nunes, “Coisa de menina? Pintar as unhas é tendência na moda masculina”, GQ, 17 jan. 2020, disponível em: gq.globo.com/Estilo/Moda-masculina/noticia/2020/01/coisa-de-menina-pintar-unhas-e-tendencia-na-moda-masculina.html, acesso em: 26 dez. 2022.

5 Brasil, Ministério da Educação, “Base Nacional Comum Curricular”, disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf, acesso em: 26 dez. 2022.

para a transformação da sociedade, tornando-a mais humana, socialmente justa e, também, voltada para a preservação da natureza” (p.8). Nessa perspectiva, no tocante ao ensino médio, observando o currículo proposto para a área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a resolução do estudo de caso pode mobilizar o aprendizado de diversos conceitos relacionados principalmente à química, mas também à biologia, tais como estrutura da matéria, transformações químicas, estrutura e propriedades de compostos orgânicos e inorgânicos, poluição, políticas ambientais etc. Em relação às habilidades e competências que podem ser contempladas a partir da aplicação do caso, estão a capacidade de avaliar potenciais prejuízos de diferentes materiais e produtos à saúde e ao ambiente, considerando sua composição, toxicidade, reatividade e nível de exposição na proposição de soluções individuais e/ou coletivas para o seu uso adequado, e a de avaliar riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das ciências da natureza para justificar medidas de segurança.

Observando a discussão acerca das responsabilidades socioambientais e as condições de trabalho associadas à profissão de manicure, o caso pode favorecer ações interdisciplinares entre as áreas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias e de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, na busca da discussão e promoção das habilidades de analisar e comparar indicadores de emprego, trabalho e renda em diferentes espaços, escalas e tempos, associando-os a processos de estratificação e desigualdade socioeconômica e de problematizar hábitos e práticas de produção e descarte (reuso e reciclagem) de resíduos na contemporaneidade e elaborar e/ou selecionar propostas de ação que promovam a sustentabilidade socioambiental e o consumo responsável.

Já em relação ao ensino superior, o caso pode ser aplicado em diversas disciplinas dos cursos de bacharelado ou licenciatura em química, como por exemplo, química ambiental, para discussão dos aspectos socioambientais envolvidos na produção industrial; ou ainda, química geral, química orgânica ou química inorgânica, para discussão das propriedades das substâncias em relação à sua estrutura, e como as mesmas interferem na degradação ou toxicidade dos materiais descartados de maneira imprópria no meio ambiente. A partir disso, o caso pode atender habilidades previstas nas Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química⁶ para o graduado na área, tais como: saber realizar avaliação crítica da aplicação do conhecimento em química, tendo em vista o diagnóstico e o equacionamento de questões sociais e ambientais; e conhecer as propriedades físicas e químicas principais dos elementos e compostos químicos que possibilitem en-

6 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

tender e prever o seu comportamento físico-químico e aspectos de reatividade, mecanismos e estabilidade.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

No tocante à complexidade por trás dos serviços oferecidos por manicures, é notável que, mesmo diante da sofisticação que a prática vem ganhando com diversificação dos serviços oferecidos (unhas em gel e acrílico, por exemplo) e possibilidades de cores, texturas etc., no senso comum, e até mesmo internalizado entre os próprios profissionais, ser manicure não é visto como uma profissão (embora o seja), já que não se exige um diploma para o seu exercício e dificilmente proporciona uma carreira profissional com ganhos financeiros vantajosos e reconhecimento social⁷. Como avanços, cita-se a regulamentação da profissão pela Lei 12.595 em 2012⁸. No entanto, ainda são necessários mecanismos que regulem a execução da prática, o que envolve também a maneira como os seus resíduos devem ser descartados.

Nota-se que manicures e salões de beleza dificilmente possuem a percepção das consequências do descarte inadequado das embalagens de esmalte de unha, bem como geralmente não possuem mecanismos para a sua realização de modo ambientalmente correto⁹. É importante notar que a composição dos esmaltes engloba diferentes tipos de componentes químicos (Quadro 1), que, uma vez introduzidos no meio ambiente, podem causar danos irreversíveis.

De acordo com o Quadro 1, os esmaltes possuem componentes como solventes, resinas, plastificantes, pigmentos, corantes e agentes tixotrópicos, responsáveis pela formação, aderência, flexibilidade, resistência, brilho, coloração e efeito da película. Alguns esmaltes podem ainda conter aditivos de diferentes naturezas tais como silicones, vitaminas, ceramidas e cálcio, que visam proporcionar mais saúde às unhas. Com destaque para os pigmentos e corantes, tais substâncias geralmente contêm metais pesados, e a dispersão destes no meio ambiente é de

7 Juliana Andrade Oliveira, *Fazendo a vida fazendo unhas: uma análise sociológica do trabalho de manicure*, tese de doutorado, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2014.

8 Brasil, lei n. 12.592, de 18 de janeiro de 2012, disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12592&ano=2012&ato=4c8QzaEikMVpWTf89>, acesso em: 31 dez. 2022.

9 Ágata Maise de Jesus Caldas e Altem Nascimento Pontes, “Descarte de esmaltes de unha realizado por manicures na região metropolitana de Belém, Pará”, *REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, vol. 14, n. 3, p. 1336-1349, 2021.

Quadro 1. Composição dos esmaltes

| Componente | Exemplo de Substância | Função |
|----------------------|--|---|
| Solventes | Acetato etílico, acetato butílico, tolueno, álcool isopropílico, dibutilftalato, formaldeído | Transformar o filme plástico em líquido a ser aplicado nas unhas |
| Resinas | Nitrocelulose, fosfato de trifênila | Dar resistência e brilho ao filme após a secagem |
| Plastificantes | Cânfora, copolímero de etileno, polimetilacrilato, estercônio de hectorita, poliuretano | Tornar o filme plástico maleável e impedir a formação de rachaduras |
| Pigmentos e Corantes | Variadas substâncias de composição orgânica e inorgânica | Dar cor e efeito ao filme plástico |
| Agentes Tixotrópicos | Carboximetilcelulose sódica, tripolifosfato de sódio, copolímero de etileno | Evitar a decantação do solvente |

Fonte: Elaboração dos autores.

recorrente preocupação, dada a grande possibilidade da sua introdução na cadeia trófica, com bioacumulação e manifestação de toxicidade¹⁰.

O dilema proposto no estudo de caso pode fornecer margem ao desenvolvimento de diferentes conhecimentos químicos e habilidades, já que o estudante precisará ponderar entre o que é correto do ponto de vista ambiental e quais práticas cotidianas para obtenção de lucro com o menor esforço possível são acessíveis para as manicures ou pessoas que usem esmaltes, precisando verificar como as diversas soluções existentes atendem às demandas mencionadas. A situação pode provocar reflexão sobre a forma como os estudantes se comportam em sociedade e como se posicionam frente a momentos de tomada de decisão, de maneira que o conhecimento escolar possa ser percebido como uma chave para a promoção de mudanças ambientais e sociais¹¹.

A construção da narrativa segue também aspectos recomendados por Herreid *et al.*¹², para um bom estudo de caso, pois desperta interesse pela questão, força uma decisão e encontra utilidade pedagógica, além de propiciar a empatia dos estudantes pelas personagens da história. À guisa das relações sociais, a discus-

10 Mikeas Silva de Lima, Ícaro Mota Oliveira e Salete Linhares Queiroz, “Estudo de caso interrompido na promoção de conhecimento ambiental de graduandos em química: resíduos sólidos urbanos em foco”, *Química Nova na Escola*, vol. 44, n. 2, pp.149-159, 2022.

11 Lorena Garces Silva e Crisna Daniela Krause Bierhalz, “Esmaltes de unhas como temática para o ensino de ciências da natureza”, *Revista Debates em Ensino de Química*, vol.3, n. 2, pp.167-187, 2017.

12 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

são sobre valores que as pessoas expressam dentro de uma comunidade pode levá-los a refletir sobre ações do cotidiano que potencialmente geram impactos ambientais e riscos, muitas vezes imediatos, à saúde.

Além disso, o caso pode auxiliar no estabelecimento de ponderações que visam auxiliar e suprir as necessidades de regulamentações específicas para a profissão, que envolvem a especialização na sua execução por meio de estudos, piso salarial, normas sanitárias próprias etc., bem como alinhar a prática com princípios do desenvolvimento sustentável e da preservação do meio ambiente. Na busca por informações, pode-se ainda considerar a grande quantidade de menções disponíveis na internet a respeito do descarte adequado de esmalte e outros materiais associados à profissão, as quais nem sempre são precisas ou cientificamente embasadas.

3.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A principal fonte de inspiração para a elaboração do caso é a vivência pessoal dos autores com a situação nele abordada. O mercado de beleza sempre esteve em alta no Brasil, que continuou próspero mesmo diante da pandemia da COVID-19¹³. Observando também o aumento no número de registros MEI para os serviços de manicure, a temática está presente no meio social e cotidiano dos alunos, o que a torna de interesse para discussão.

3.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos classifica os esmaltes como resíduos domésticos perigosos, que podem causar danos à saúde e contaminar sistemas de tratamento de águas residuais, águas subterrâneas e outros recursos hídricos¹⁴. Já no Brasil, de acordo com a sua composição, os esmaltes se classificam como Resíduos Perigosos (Classe 1) na Associação Brasileira de Nor-

13 “Mercado de beleza cresce no Brasil durante a pandemia”, *ABRAS*, 27 jan. 2021, disponível em: abras.com.br/clipping/geral/72323/mercado-de-beleza-cresce-no-brasil-durante-a-pandemia, acesso em: 26 dez. 2022.

14 Israel Felzenszwalb *et al.*, “Toxicological evaluation of nail polish waste discarded in the environment”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, n. 27, p. 27590-27603, 2019.

mas Técnicas¹⁵. Diante disso, são propostas soluções que discorrem sobre o uso consciente dos produtos e que apontam formas corretas de descarte.

3.4.1 RECOLHIMENTO DAS EMBALAGENS POR COMPANHIAS ESPECIALIZADAS

Visto que salões de beleza e manicures que realizam atendimentos domiciliares dificilmente possuem mecanismos próprios e adequados para o descarte e tratamento das embalagens dos esmaltes de unhas, a primeira solução se baseia no seu recolhimento por empresas e companhias especializadas em reciclagem. Inicialmente, recomenda-se o contato com o fabricante do esmalte, para verificar se este recolhe as embalagens. Caso isso não seja possível, recomenda-se a procura de programas e iniciativas alternativas.

A título de exemplo cita-se o programa Beleza Verde, gerenciado pela empresa de reciclagem Dinâmica Ambiental, que recolhe embalagens antigas ou esmaltes inutilizáveis em estabelecimentos de estética e realiza o processo de reciclagem. No ano de 2020, pelo menos cinquenta salões de beleza em São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná já contavam com o serviço¹⁶.

Após a sensibilização dos colaboradores para a realização de uma separação adequada, o programa se dá pela instalação de coletores nos salões, os quais são esvaziados periodicamente. A partir disso, os vidros de esmalte passam pela separação do produto da embalagem, de maneira que o resto do líquido é destinado para fabricação de solvente e zarcão, e o plástico e vidro das embalagens são vendidos. Ou seja, além da preservação do meio ambiente, outra vantagem relacionada ao programa diz respeito à geração de renda para catadores de material reciclável. Uma possível desvantagem consiste na necessidade do pagamento de uma taxa mensal para participação no programa.

3.4.2 OTIMIZAÇÃO DO USO DOS ESMALTES

A maioria das manicures descarta os vidros de esmaltes quando aí ainda resta conteúdo. Dentre os motivos para a realização do descarte sem a utilização de todo o produto destacam-se o prazo de validade, a consistência do líquido e o vidro quebrado. Uma solução é a realização de campanhas de conscientização

15 Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Norma Brasileira Regulamentadora 10.004: resíduos sólidos – classificação*, ABNT, São Paulo, 2004.

16 “Dinâmica Ambiental destina adequadamente resíduos de salão de beleza”, *Pensamento Verde*, 19 out. 2020, disponível em: pensamentoverde.com.br/beleza-verde/dinamica-ambiental-destina-adequadamente-residuos-de-salao-de-beleza/, acesso em: 26 dez. 2022.

no que tange ao consumo total do produto, evitando desperdícios e a compra em demasia. Uma ideia alternativa na utilização das pequenas quantidades que sobram no recipiente diz respeito à customização de objetos e acessórios, como bijuterias, esculturas etc. Esta solução pode ainda ser combinada com a anterior para um melhor aproveitamento do produto.

Algo que é de conhecimento comum é o fato de que muitas pessoas possuem várias unidades de esmalte sem necessidade, pois utilizam apenas algumas das cores. Com o tempo, o material pode se deteriorar e não servir mais para o consumo. Ressalta-se que salões com esmaltes fora do prazo de validade podem ser multados por órgãos fiscalizadores. Esmaltes vencidos podem causar irritações, alergias, coceiras e escamações na cutícula, e podem ainda se espalhar para outras partes do corpo que a pessoa tocar, como por exemplo, pálpebra dos olhos, pescoço etc. A multa para o uso de esmaltes vencidos pode variar de seiscentos reais a nove milhões de reais, dependendo da gravidade da infração¹⁷.

3.4.3 SEPARAÇÃO FÍSICA DAS PARTES DO ESMALTE E RECICLAGEM

Ao analisar a composição dos esmaltes utilizados em salões de beleza e nas residências pela população, verifica-se a presença de substâncias nocivas para o ambiente, como os solventes orgânicos com alta pressão de vapor, como acetato de etila, tolueno, álcool isopropílico e formol, além de substância não voláteis, como dibutilftalato, cânfora, nitrocelulose etc., e pigmentos de origem orgânica e inorgânica¹⁸. Assim, a terceira solução diz respeito à separação física dos componentes voláteis e não voláteis do esmalte pelas próprias manicures.

Este processo pode ser realizado derramando-se o líquido restante em uma folha de papel e levando-a para um local arejado para evitar a respiração dos vapores. Os solventes acetato de etila, tolueno, álcool isopropílico e formol, dado os pontos de ebulição, rapidamente irão evaporar do papel, restando apenas as substâncias não voláteis. Após seco, o papel e os demais componentes do esmalte (vidro, partes plásticas) podem ser descartados em lixo reciclável. Para otimizar a extração, pequenas quantidades de removedor de esmalte podem ser adicionadas dentro do compartimento para o amolecimento de líquidos que estão duros e lavagem do vidro e do pincel. A solução deve ser derramada no papel, e o processo repetido até que tudo esteja limpo.

17 “Como descartar seu esmalte corretamente?”, *Recicla Sampa*, 11 mar. 2020, disponível em: reciclasampa.com.br/artigo/como-descartar-seu-esmalte-corretamente, acesso em: 26 dez. 2022.

18 “A química dos vernizes de unha, ou esmaltes”, *Química e Derivados*, 31 jul. 2014, disponível em: <https://www.quimica.com.br/quimica-dos-vernizes-de-unha-ou-esmaltes/>, acesso em: 26 dez. 2022.

3.5 PARA SABER MAIS

3.5.1 ESMALTE DE UNHAS: UMA TEMÁTICA PARA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO QUÍMICO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS

Artigo¹⁹ que apresenta relato de oficinas temáticas acerca do uso de esmalte de unhas como proposta para o ensino do conteúdo de funções orgânicas. Observa-se a contextualização de conceitos químicos, tais como funções orgânicas, grupos funcionais e reações, por meio da investigação da composição química dos rótulos de esmaltes, bem como realização de experimentos para identificação e síntese de compostos orgânicos.

3.5.2 O TRABALHO DAS MANICURES E AS QUESTÕES DA LITERATURA CIENTÍFICA

Artigo de revisão²⁰ que apresenta como os estudos que se dedicam à temática do trabalho de manicure contribuem para a melhoria das condições de realização da profissão. A literatura investigada destaca os aspectos relacionados predominantemente aos riscos à saúde dos clientes e profissionais, trabalhadoras imigrantes e o crescimento dos negócios do setor de beleza.

19 Michele Tamara Reis, Mara Elisa Fortes Braibante e Ana Carolina Gomes Miranda, “Esmalte de unhas: uma temática para construção do conhecimento químico de funções orgânicas”, *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 12, n. 8, pp. 184-196, 2017.

20 Juliana Andrade Oliveira, “O trabalho das manicures e as questões da literatura científica”, *International Journal on Working Conditions*, n. 13, pp.123-139, 2017.

ESTUDO DE CASO: VIVENDO E APRENDENDO SOBRE OS CABELOS NATURAIS

CAIO RICARDO FAIAD¹

TEREZINHA IOLANDA AYRES-PEREIRA²

CAROLINA SOTÉRIO³

Há algum tempo que a cabeleireira dona Augusta está percebendo que Jéssica, sua mais frequente cliente para alisamentos capilares, não tem voltado ao salão. Ao vê-la passar, com seus cabelos cacheados, dona Augusta corre para conversar.

– Oi, Jéssica. Você está sumida! O que aconteceu? Ficou com raiva da gente?

– De jeito nenhum, dona Augusta! A senhora sempre deixou meus cabelos lindos, enquanto eu gostava deles lisos. Mas, de um tempo para cá, eu resolvi voltar a ter cabelos cacheados e parei de alisá-los para fazer a transição capilar, retirando os produtos químicos e voltando a ter meus antigos cachos. Veja como estão agora!

– Ah, não pode! Seu cabelo ficava tão lindo liso!

– Para com isso, dona Augusta! As pessoas têm o direito de ter o cabelo como elas quiserem!

– Então você pode vir lavar os cabelos aqui. Tenho um monte de xampus para cabelos cacheados.

– Eu sei que a senhora tem bons produtos, dona Augusta, mas além de não querer alisar mais, eu também não estou querendo usar os xampus tradicionais. Estou buscando produtos alternativos, específicos para o meu tipo de cabelo.

– *Fia!* Cabelo é tudo igual. É só colocar o xampu e pronto!

– Não! Não, dona Augusta! Cabelos diferentes precisam de cuidados diferentes.

– Produtos alternativos? Cabelos diferentes? Como assim?

1 Doutorando do Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

2 Doutoranda do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

3 Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

– Existe uma classificação dos cabelos. O meu, por exemplo, é do tipo 4A. Ele é crespo. Então eu tenho que usar produtos que mantenham lindo o meu *Black Power*!

– Eu realmente ouvi dizer que agora tem classificação de cabelo. Sei lá! 4A, 4X, 4Y? Eu nunca acreditei! Cabelo, para mim, sempre foi cabelo e ponto final. Mas, ultimamente, tenho pensado em estudar sobre o assunto. Você sabe a respeito disso? Tem informações que eu possa consultar?

– Dona Augusta, eu aprendi estudando química que xampu é uma mistura. E você tem que ficar atenta aos componentes do xampu. Os produtos alternativos também são misturas que podem substituir o xampu, a depender do caso. Existem os *low poo*, que são xampus com menor quantidade de substâncias agressivas, e também existem produtos que não são xampus e lavam os cabelos, chamados de *no poo*. A senhora já escutou algo a respeito?

– Eu ouvi algumas clientes falando sobre isso outro dia, mas não dei bola. Hum, estou ficando preocupada! Vou acabar perdendo mais clientes como você.

– É bem possível! Hoje eu estou ocupada, mas amanhã meus amigos virão fazer um trabalho aqui em casa e a gente pode passar no salão para te mostrar algumas coisinhas. Quem sabe você não as coloca em prática? Assim, ao invés de ter uma prateleira cheia só de produtos tradicionais, você diversifica um pouco e coloca alguns alternativos!

– Quero só ver se você e seus amigos vão me convencer...

Vocês são amigos da Jéssica e, com base nos conhecimentos de química, pesquisem sobre os produtos *low poo*, *no poo* e tradicionais para os cabelos. Qual tipo dentre eles é o mais adequado para o cabelo da Jéssica e que deveria ser utilizado no salão da dona Augusta? Argumentem a favor do tipo escolhido.

4.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

Há alguns anos a educação brasileira vem se modernizando com a implementação de um conjunto de medidas e ações a fim de corrigir injustiças, eliminar discriminações e promover a inclusão social e a cidadania para todos no sistema educacional. Dentre essas ações para as políticas educacionais vigentes, destacam-se a Lei 11.645/2008⁴, que obriga a inserção de história e cultura afro-brasi-

4 Brasil, lei n. 11.645, de 10 de março de 2008, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11645.htm, acesso em: 27 dez. 2022.

leira e indígena, e o Parecer CNE/CP 3/2004⁵, que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação das Relações Étnico-Raciais e para o Ensino de História e Cultura Afro-Brasileira e Africana.

O referido Parecer ressalta a asseguaração dos direitos dos negros, assim como de todos os cidadãos brasileiros, de se reconhecerem como parte da cultura nacional e disporem de uma educação com profissionais qualificados para lidar com as diferenças étnico-raciais, de forma a integrarem um país democrático e que respeite os direitos e a identidade de todos:

Precisa, o Brasil, país multiétnico e pluricultural, de organizações escolares em que todos se vejam incluídos, em que lhes seja garantido o direito de aprender e de ampliar conhecimentos, sem ser obrigados a negar a si mesmos, ao grupo étnico/racial a que pertencem e a adotar costumes, ideias e comportamentos que lhes são adversos. E estes, certamente, serão indicadores da qualidade da educação que estará sendo oferecida pelos estabelecimentos de ensino de diferentes níveis (p. 9).

No que diz respeito às competências gerais previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC)⁶ para serem desenvolvidas no ensino básico, o caso dialoga diretamente com alguns desses princípios quando promove a reflexão sobre questões de identidade, cultura e valorização das mesmas, conforme é citado em:

Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza (p. 10).

Ainda, o caso propicia o desenvolvimento de competências estabelecidas no documento curricular mencionado para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, contribuindo para o cenário no qual o estudante possa aprimorar as habilidades de compreensão e explicação de fenômenos e processos, bem como o exercício da curiosidade para a proposição de soluções em situações-problema.

No que diz respeito ao ensino superior, o caso proporciona o desenvolvimento de habilidades pessoais e profissionais esperadas na formação de estudantes de

5 Brasil, parecer n. 003/2004, de 17 de junho de 2004, disponível em: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/cnecp_003.pdf, acesso em: 27 dez. 2022.

6 Brasil, Ministério da Educação, “Base Nacional Comum Curricular”, disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em: 26 dez. 2022.

química, estabelecidas nas Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química. Nelas são relatadas a compreensão e acompanhamento dos avanços da ciência e tecnologia, o reconhecimento das relações culturais que dialogam com a química e também um conhecimento que possibilite compreender as propriedades de compostos químicos e suas implicações⁷.

O caso pode ser abordado em diferentes níveis de ensino, com destaque para o último ano do ensino médio, tendo em vista que, nesse estágio, os estudantes possuem maior familiaridade com os conteúdos de química. Seria interessante que ocorresse a participação dos mesmos em discussões mais amplas sobre a temática, em uma abordagem também sociocientífica.

No que diz respeito ao ensino superior, os estudantes precisam dominar aspectos relativos à natureza da matéria, que poderiam ser tratados em disciplinas de química orgânica e bioquímica, tendo em vista a gama de estruturas químicas envolvidas na temática dos xampus. Em particular em um curso de licenciatura em química, o caso poderia também ser estudado em um contexto no qual o futuro professor seria estimulado a conhecer e fazer uma análise crítica sobre o seu uso como recurso didático. Além, claro, de ser formado para abordar na escola a descolonização dos saberes⁸ e o enfrentamento do racismo, a partir de conteúdos curriculares da química⁹.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Tem-se acompanhado, nos últimos anos, o crescimento de um movimento coletivo no Brasil no qual as pessoas passaram a assumir os cabelos naturais e se dedicam ao processo de transição capilar. Deixa-se de lado, tal qual na narrativa do presente caso, uma série de tratamentos estéticos que levavam ao alisamento dos fios.

A questão tem raízes muito mais profundas do que a não aceitação do cabelo afro pelas pessoas negras, envolvendo a construção sócio-histórica do país¹⁰. Nes-

7 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

8 Bárbara Carine Soares Pinheiro e Katemari Rosa (orgs.), *Descolonizando saberes: a Lei 10.639/2003 no ensino de ciências*, São Paulo, Editora Livraria da Física, 2018.

9 Anna M. Canavarro Benite, Marysson Jonas Rodrigues Camargo e Nicéa Quintino Amauro (orgs.), *Trajetórias de descolonização da escola: o enfrentamento do racismo no ensino de ciências e tecnologias*, Belo Horizonte, Nandyala, 2020.

10 Ivanilde Guedes de Mattos e Aline Silva, “Vício cacheado: estéticas afro diaspóricas”, *Revista da Associação Brasileira de Pesquisadores/as Negros/as (ABPN)*, vol. 6, n. 14, pp. 214-235, 2014.

se sentido, os movimentos sociais negros surgem, com grande destaque a partir de 1960, para reafirmar identidades e funcionar como instrumentos emancipatórios, por meio da ressignificação e politização afirmativa da ideia de raça¹¹. Um grande exemplo foi o movimento *Black Power* e os jargões sobre o assunto que se popularizaram a nível global, como o *black is beautiful* (o preto é lindo, em português), que também repercutiram no cenário brasileiro¹².

Segundo pesquisas atuais sobre a temática, os relatos da transição capilar ganharam ainda mais força por meio das mídias sociais, que facilitam a interação direta entre os internautas. No Facebook®, por exemplo, concentram-se milhares de usuários em grupos que debatem o assunto a partir de suas experiências pessoais. Com essa discussão, é levantada também a bandeira da representatividade, da luta contra o racismo e da valorização da beleza negra¹³.

Por intermédio da narrativa, o presente caso dialoga com problemáticas reais e contribui para fomentar a discussão sobre identidade, ideais de beleza, autoestima, conhecimento e empoderamento. Além disso, ele retrata o panorama dos tratamentos estéticos que versam sobre o assunto.

Ainda, o caso dispõe de uma série de características que o classifica como um bom caso, segundo Herreid *et al.*¹⁴, dentre as quais está uma narrativa curta que envolve temáticas atuais, principalmente relacionadas às questões étnico-raciais em um país racialmente multifacetado como o Brasil. Nesse sentido, a personagem, em busca de xampus que atendam melhor às necessidades específicas de seus cabelos, promove uma situação de empatia com o leitor.

Há também uma proposição de conflito e necessidade de uma tomada de decisão quando o leitor se encontra no papel de analisar quimicamente as opções de xampu comentadas e argumentar a favor do que considerar adequado para o cabelo da Jéssica, trabalhando com diversos temas da química (tais como as interações moleculares, componentes dos cosméticos, estrutura do cabelo e proteínas), que reforçam o potencial pedagógico do caso.

11 Nilma Lino Gomes, *O movimento negro educador: saberes construídos nas lutas por emancipação*. Petrópolis, Editora Vozes Limitada, 2017.

12 Carlos Benedito Rodrigues da Silva, "State and social movements in Brazil: an analysis of the participation of black intellectuals in state agencies", em: Jean Muteba Rahier (eds.), *Black social movements in Latin America: from monocultural mestizaje to multiculturalism*, Nova Iorque, Palgrave MacMillan, 2012, p. 188-202.

13 Karina de Camargo e Priscila Martins de Medeiros, "A transição capilar nas mídias digitais: identificações em processo e representações em disputa", *Áskesis - Revista dos Discentes do Programa de Pós-Graduação em Sociologia da UFSCar*, vol. 8, n. 1, pp. 117-130, 2019.

14 Clyde Freeman Herreid *et al.*, "What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all", *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

4.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

O caso é inspirado na vivência dos autores, visto que, enquanto brasileiros, fazem parte de uma nação que apresenta uma diversidade de tipos de cabelo e lida constantemente com a influência da indústria europeia de xampus, que prioriza o cabelo liso. Dessa forma, a busca por xampus adequados aos cabelos ondulados, cacheados e crespos foi, por um longo período de tempo, um grande problema. Recentemente, a indústria nacional percebeu que precisava atender às especificidades dos cabelos dos brasileiros, o que vem mudando a dinâmica da produção de xampus.

Outro fator de mudança, que é mundial, é o anseio de parte da população por produtos de higiene e limpeza mais naturais, como uma forma de prezar pela própria saúde e pelo meio ambiente.

4.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

O caminho resolutivo da questão, do ponto de vista químico, envolve os seguintes questionamentos: qual a estrutura do cabelo? Quais são as técnicas mais comuns para lavar o cabelo? Qual o princípio químico na produção de produtos para lavar o cabelo? Qual a composição dos produtos tradicionais para lavar o cabelo? Qual a composição dos produtos alternativos para lavar o cabelo? Para responder tais questões, é preciso a familiarização com a estrutura dos diferentes tipos de cabelos e a compreensão sobre como eles reagem aos xampus.

Os fios de cabelo, majoritariamente formados por proteínas chamadas de α -queratina, possuem três camadas: a cutícula, mais externa; o córtex, região de maior massa; e a medula, região central¹⁵. Tais fios surgem de folículos de pelos terminais que estão associados às glândulas sebáceas, isto é, glândulas que secretam o sebo: um tipo de gordura formada por glicerídeos, cera, ácidos graxos e um hidrocarboneto do tipo esqualeno ($C_{30}H_{50}$). Entre outras funções, o sebo previne a perda de água do fio do cabelo e também atua na prevenção do aparecimento de algumas bactérias. No entanto, seu excesso pode transmitir um aspecto gordu-

15 Simone Aparecida da França, *Caracterização dos cabelos submetidos ao alisamento/relaxamento e posterior tingimento*, dissertação de mestrado, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2014.

roso ao cabelo, além do acúmulo de substâncias estranhas a ele. Assim, a maior parte da sujeira do cabelo se acumula no sebo^{16,17}.

Cabe destacar que os tipos de cabelos, geneticamente definidos, interagem de diferentes formas com os agentes químicos, entre eles, os xampus. Para melhor classificar os cosméticos ideais para cada tipo de cabelo, profissionais que atuam no ramo do embelezamento criaram uma escala genérica de quatro níveis, que progride conforme a curvatura do cabelo: o cabelo oriental (geralmente liso e classificado como 1A, 1B ou 1C), por exemplo, tende a ter a queratinização da camada cuticular mais circular e espessa; o caucasiano (que vai de um espectro do ondulado – 2A, 2B ou 2C – ao moderadamente encaracolado – 3A, 3B ou 3C), mais elíptica e de espessura intermediária; e o crespo/afro-étnico (enovelado, do tipo 4A, 4B ou 4C), mais achatada ovalmente e menos espessa que as demais^{18,19}.

As regiões dos fios de menor depósito queratínico podem ser consideradas as de maior fragilidade e, conseqüentemente, propiciar uma maior penetração de produtos químicos, deixando as madeixas mais suscetíveis a danos. Nesse sentido, o cabelo afro, de maior curvatura, tende a ser o mais quebradiço, além de produzir menores quantidades de sebo e ser mais ressecado. Uma das formas de reparar tais danos é, justamente, apostando em cosméticos que reduzam a concentração de cargas elétricas nas superfícies dos fios, aumentem a hidrofobicidade de capilar e fortaleçam a cutícula²⁰.

4.4.1 XAMPUS E CONDICIONADORES TRADICIONAIS

Os principais ingredientes que tradicionalmente constituem os xampus são detergentes/surfactantes, aditivos, agentes condicionadores e ingredientes ativos. O seu poder de limpeza depende diretamente da ação dos surfactantes, que propiciam a diminuição da tensão superficial entre a água e a sujeira. Isto só se torna possível devido à formação de uma estrutura conhecida como micela, que aprisiona a sujeira de forma que a parte hidrofílica fica do lado externo e a lipofílica

16 Mauro Picardo *et al.*, “Sebaceous gland lipids”, *Dermato-Endocrinology*, vol.1, n.2, pp. 68-71, 2009.

17 André Borges Barbosa e Roberto Ribeiro da Silva, “Xampus”, *Química Nova na Escola*, n. 2, pp. 3-6, 1995.

18 Maria Fernanda Reis Gavazzoni Dias, “Hair cosmetics: an overview”, *International Journal of Trichology*, vol. 7, n. 1, pp. 2-15, 2015.

19 Adelino Kaoni Nakano, *Comparação de danos induzidos em cabelos de três etnias por diferentes tratamentos*, tese de doutorado, Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

20 “Andre Walker hair typing system”, disponível em: <https://www.women-info.com/en/andre-walker-hair-typing-system/>, acesso em: 27 dez. 2022.

do lado interno. Assim, a sujeira fica solúvel em água e pode ser removida pela mesma²¹.

Os aditivos, por sua vez, surgem para melhorar a performance do xampu. Eles podem agir como modificadores dos efeitos dos surfactantes, estabilizadores ou ainda como aprimoradores do efeito desejado pelo uso do produto. Os modificadores têm potencial de diminuir possíveis irritações da pele. Nesse sentido, hidratantes e umectantes podem ser adicionados para conferir um aspecto mais sedoso ao cabelo²².

Ainda tratando de aditivos aos xampus, os estabilizadores surgem como forma de agir contra a ação de bactérias (pelo emprego de ácidos orgânicos e derivados), agentes que absorvem a radiação UV para manter a cor contra o efeito da luz (derivados da benzofenona), antioxidantes (como o ácido ascórbico), para a manutenção do pH (como tampões fosfato, lactato e citrato) e muitos outros. Já os aprimoradores estão presentes, principalmente, nas substâncias que atuam na aparência do produto, como a sua fragrância e coloração. Por exemplo, óleos perfumados são empregados para transformar o cheiro de gordura do xampu em algo agradável de se sentir. Ademais, outros muitos ingredientes ativos podem ser colocados na formulação dos xampus para lidar com problemas oriundos do couro cabeludo, como a caspa e irritações da pele²³.

Já os agentes condicionadores atuam contra os danos causados nos fios para manter a condição natural dos cabelos recém-crescidos, pelo maior tempo possível, evitando o *frizz*, melhorando brilho e maciez, restaurando a hidrofobicidade capilar e selando a cutícula dos fios. Uma função importante dos condicionadores é que eles podem imitar nossa camada lipídica externa natural do cabelo, composta pelo ácido 18-metil-ecosanoico (18-MEA)²⁴. Nessa classe estão incluídas substâncias como óleos vegetais, ceras, colágenos, proteínas animais e muitas outras.

O ponto de atenção para o uso de xampus com surfactantes à base de sulfato é que, quando os cabelos são excessivamente lavados, o 18-MEA acaba por ser removido, de forma que a fibra do cabelo se torna hidrofílica e com uma superfície negativamente carregada. Consequentemente, o cabelo pode se esticar até sofrer

21 Ralph M. Trüeb, “Shampoos: ingredients, efficacy and adverse effects”, *Journal of the German Society of Dermatology*, vol. 5, n. 5, pp. 356–365, 2007.

22 Marcionei Chiroli, Ranieri Campos e Lisiane Lange da Silva, “Doadores de viscosidade utilizados em xampus: revisão de literatura, 2000 a 2012”, *Visão Acadêmica (Curitiba)*, vol.14, n. 1, pp. 71-83, 2013.

23 Ralph M. Trüeb, “Molecular mechanisms of androgenetic alopecia”, *Experimental Gerontology*, vol. 37, n. 8-9, pp. 981-990, 2002.

24 Lidiane Advíncula de Araújo, *Desenvolvimento de formulações cosméticas contendo óleos vegetais para a proteção e reparação capilar*, dissertação de mestrado, Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 2015.

uma fratura, tendo, assim, a estrutura capilar danificada²⁵. Ademais, os xampus tradicionais possuem parabenos (amplamente utilizados como conservantes), que podem ser agressivos à saúde e ao meio ambiente, por possuírem ação estrogênica (isto é, que altera significativamente o funcionamento do organismo vivo) e alergênica²⁶. No caso da Jéssica, ela poderia apostar em xampus tradicionais com bons condicionadores em sua composição, mas, do ponto de vista do embelezamento, outras técnicas podem ser melhores.

4.4.2 LOW POO

Os adeptos da técnica *low poo* (pouco xampu, em português) unem esforços para o uso de xampus com menor concentração de surfactantes à base de sulfato, especificamente os do tipo aniônicos, que promovem uma limpeza mais profunda. Essa classe é composta de substâncias como o lauril sulfato de amônio, lauril sulfato de sódio, lauril sarcosinato de sódio, entre outros.

Ainda, outros tipos de surfactantes podem ser empregados, como os catiônicos (que promovem uma limpeza suave e amaciam os cabelos), não-iônicos (para uma limpeza suave com menor impacto ambiental) e anfóteros (que visam uma limpeza moderada e sem irritar os olhos). Quando esses outros tipos de surfactantes são adicionados aos xampus, há uma redução da eletricidade estática causada pelos surfactantes aniônicos, de forma a minimizar o *frizz* nos cabelos e melhorar a formação de espuma e viscosidade do produto. Assim, estes produtos reduziriam a formação de uma rede de eletricidade nos fios e promoveriam a limpeza do cabelo de forma menos agressiva. No entanto, estudos comparativos da eficiência dos produtos têm sido feitos e, apesar do seu potencial de irritação da pele, não há comprovação científica de que o uso dos surfactantes à base de sulfatos tenha uma implicação drástica à saúde humana²⁷. Ademais, outros fatores, como o pH dos xampus, podem estar associados a efeitos indesejáveis, tais como a redução do potencial de neutralização das cargas elétricas nos fios de cabelo.

Dessa forma, essa técnica pode ser empregada para os consumidores que possuem um couro cabeludo mais sensível, embora os fatores de possíveis irritações possam ser oriundos de diversos componentes, que não somente os surfactantes.

25 Karina Fernandes Baptista e Nelson Cesar Fernando Bonetto, “Estudo comparativo de xampus com e sem tensoativos sulfatados”, *Revista Acadêmica (Oswaldo Cruz)*, n. 12, pp. 1-18, 2016.

26 Abigail Cline, Laura N. Uwakwe e Amy J. McMichael, “No sulfates, no parabens, and the “no-poo” method: a new patient perspective on common shampoo ingredients”, *Cutis*, vol. 101, n. 1, pp. 22-26, 2018.

27 Andreia Bonuzzi de Faria *et al.*, “Desenvolvimento e avaliação de produtos cosméticos para a higiene capilar contendo tensoativos “não-sulfatados””, *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, vol. 33, n. 4, pp. 521-527, 2012.

No caso da Jéssica, esses produtos podem ser empregados para minimizar o efeito do *frizz*, promover um menor impacto ambiental e limpar o cabelo de forma mais suave. Porém, é preciso reforçar que essa limpeza mais suave implica na proibição de substâncias como os parabenos e petrolatos, comuns nos finalizadores (popularmente conhecido como creme de pentear). Assim, Jéssica precisaria verificar a composição desses finalizadores para ter uma boa saúde capilar.

4.4.3 NO POO

O método *no poo* (sem xampu, em português) para a limpeza dos cabelos e couro cabeludo envolve a utilização de técnicas alternativas ao uso dos xampus tradicionais. Entre as propostas de limpeza estão receitas caseiras e o uso estrito de condicionadores.

Uma das técnicas envolve a utilização de bicarbonato de sódio para a lavagem dos fios. Sendo um produto já familiar, ele possui propriedades que auxiliam na neutralização de ácidos, além de possuir ação antifúngica. Por possuir um pH alcalino, o bicarbonato pode atuar como um agente que promove maior absorção da água pelos fios de cabelo. No entanto, tal ação pode promover a quebra das ligações de hidrogênio das moléculas de α -queratina, deixando o cabelo mais fraco e danificado²⁸.

Outra alternativa é a utilização de produtos naturais, como o óleo de árvore de chá, uma planta australiana conhecida por suas propriedades antissépticas. Em outros contextos ele é geralmente adicionado aos demais cosméticos, e não utilizado sozinho. Sua ingestão é tóxica²⁹.

Há ainda o uso de condicionadores para lavar o cabelo, técnica chamada de *co-washing*, geralmente adotada por pessoas que acreditam que os xampus removem muito de seus óleos naturais. Esses produtos não foram originalmente criados para tal finalidade, mas há exceções, como no caso de agentes condicionantes quaternários, que possuem detergentes em sua composição e podem funcionar para remover a sujeira e o sebo³⁰. No caso da Jéssica, é possível apostar nessa classe de produtos para limpar o cabelo e ainda preservar o 18-MEA nos fios.

28 Carolina Gomes, “No-poo e low-poo: o que você precisa saber sobre esses dois métodos de lavagem capilar”, *Claudia*, 22 jun. 2015, disponível em: <https://claudia.abril.com.br/cabelos/no-poo-e-low-poo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-esses-dois-metodos-de-lavagem-capilar/>, acesso em: 27 dez. 2022.

29 “Melaleuca”, *Horto didático de plantas medicinais da UFSC*, 14 fev. 2020, disponível em: <https://hortodidatico.ufsc.br/melaleuca/>, acesso em: 27 dez. 2022.

30 “Você conhece a técnica co-wash para lavar os cabelos?”, *Beleza e Saúde*, disponível em: <https://belezaesauda.com/co-wash/>, acesso em: 27 dez. 2022.

4.5 PARA SABER MAIS

4.5.1 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A QUÍMICA DOS COSMÉTICOS

Neste artigo³¹ é relatada uma sequência didática desenvolvida no contexto de uma disciplina de química para o ensino médio. Ao longo de seis aulas, os estudantes realizam atividades de laboratório, jogos e de registro textual sobre o tema de cosméticos e, em particular, da química de xampus e perfumes. Na ocasião, foram explorados diversos conceitos relacionados às funções orgânicas, com compartilhamento dos exercícios e questões direcionadoras empregadas em sala de aula.

4.5.2 FIO POR FIO

Texto de divulgação científica³² que discute a natureza dos cabelos e a sua reação ao uso de diferentes cosméticos e procedimentos estéticos, tais como o uso de xampus e condicionadores, o ato de secar e escovar as madeixas e técnicas de alisamento. Para apresentar o tema com profundidade, mantendo uma linguagem acessível, o autor do texto traz falas de especialistas que discorrem, em detalhes, sobre a estrutura dos cabelos e os danos causados pela sua interação com agentes químicos.

31 Julyana Cosme Rodrigues *et al.*, “Elaboração e aplicação de uma sequência didática sobre a química dos cosméticos”, *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 13, n. 1, pp. 211-224, 2018.

32 Ricardo Zorzetto, “Fio por fio”, *Pesquisa FAPESP*, n. 137, pp. 38-43, 2007.

ESTUDO DE CASO: DA CASCA AO PLÁSTICO

JÉSSICA FREIRE FEITOR¹

PEDRO HENRIQUE DAMADA²

MIKEAS SILVA DE LIMA³

Tereza Cristina é uma aluna de doutorado em química, no interior do estado de São Paulo, onde mora há mais de dez anos. Sempre que tem uma oportunidade ela viaja para a sua cidade natal, Pirapora do Marzinho, no litoral paulista, com aproximadamente dez mil habitantes. Um dos principais atrativos da cidade é o trailer de petiscos da dona Filó Constância e, como de costume, Tereza e seus pais vão ao trailer se deliciar com as famosas batatas e camarões, aos sábados à noite.

A caminho do trailer, Tereza Cristina já estava ansiosa:

– Nem acredito que vou comer as batatinhas e os camarões da Consta, já estava sonhando com isso. Vou comer muito!

– Até eu que moro aqui do lado sonho com esses petiscos – disse a sua mãe, rindo.

Ao chegarem ao local encontraram uma fila enorme e, enquanto esperavam, ficaram assistindo ao telejornal da noite. A jornalista Rosa Maria Burtinho alertava:

– O uso desenfreado de plástico tem levado à morte de diversas espécies e poluído o meio ambiente de uma maneira irreversível. Mesmo assim, é comum presenciarmos pessoas utilizando embalagens sem necessidade, e o comércio estimulando cada vez mais esse uso. É necessária a conscientização da população e dos comerciantes. A Terra corre perigo!

1 Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

2 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

Ver as imagens do telejornal deixou Tereza um pouco triste e com peso na consciência, lembrando do seu papel como química na sociedade. Finalmente, chegou a sua vez de fazer o pedido:

– Boa noite! Gostaria de um prato grande de batata com cheddar e bacon, um prato médio de camarão empanado e um refrigerante de dois litros, por favor.

– Canudo e talheres? – perguntou a atendente. Tereza Cristina, lembrando da notícia que acabara de ver, disse:

– Apenas três copos, obrigada!

– Tudo bem, aqui está a sua senha, o pedido deve ficar pronto em vinte minutos. Tenha uma ótima noite – finalizou a atendente, sorrindo.

Após todos comerem e ficarem satisfeitos, Tereza se levantou para jogar os resíduos na lixeira e, quando chegou perto, ficou assustada:

– Quanto lixo! Quanto plástico! O vento levando tudo embora e ninguém se preocupando! Tem de haver uma solução para isso!

Ao voltar para a cidade onde reside, com o problema em mente, Tereza decidiu compartilhar a indignação que sentia com a sua orientadora, Carmem Lúcia:

– Professora, você não acredita! Fui comer petiscos com os meus pais no final de semana e fiquei indignada como a população não se importa com o uso abusivo de plásticos. Em uma pequena lixeira havia um mar de plásticos. Eu irei morrer e todo aquele plástico ainda vai estar aqui!

A professora, coçando a cabeça, concordou com ela e disse:

– Eu tenho uma ideia: o que você acha de a gente compartilhar o problema ao qual você se refere com os alunos da disciplina de química orgânica e solicitar que eles apresentem soluções para a população?

Tereza Cristina achou a proposta excelente, considerando-a como um ótimo modo de conscientizar a população sobre o problema e encontrar diferentes soluções criativas. Tereza, então, retornou para a sua cidade natal e tirou fotos das lixeiras, do trailer e dos resíduos de casca de batata e camarão gerados, montando uma pasta com artigos para auxiliar os alunos na empreitada.

Como aluno da professora Carmem Lúcia, você precisa auxiliar Tereza Cristina. Proponha soluções para o problema, visando à disponibilização de informações para a população, e argumente a favor de uma delas.

5.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso aborda a poluição ambiental causada pelo descarte inconsciente de plásticos. A narrativa cria um contexto familiar aos estudantes, o que desperta o interesse para solucionar o problema em questão. O tema é bastante relevante visto que, atualmente, muito vem sendo discutido em fóruns mundiais, conferências e programas jornalísticos acerca da poluição do meio ambiente e de como isso está afetando a natureza.

Na busca pelas soluções, os estudantes têm a oportunidade de desenvolver habilidades de trabalho em equipe, pensamento crítico, tomada de decisão, argumentação e criatividade, consideradas relevantes para a sua formação. Em relação à educação básica, seguindo a Base Nacional Comum Curricular⁴, a aplicação do caso pode mobilizar conteúdos sugeridos da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, tais como como estrutura da matéria, transformações químicas, poluição, políticas ambientais etc., o que contempla o desenvolvimento das seguintes habilidades: “avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis” (p. 555), e “analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidianos” (p. 559).

No que diz respeito ao ensino superior, o caso pode ser utilizado em disciplinas de química orgânica ou de biomateriais, de cursos de bacharelado ou licenciatura em química, possibilitando o estudo de diversos conteúdos, tais como a estrutura de carboidratos e polímeros e os processos de extração e purificação dessas substâncias, já que são constituintes de grande parte dos materiais que causam poluição atualmente. Há espaço, ainda, para a discussão sobre a reciclagem e compostagem, a fim de conscientizar os estudantes sobre o impacto que os plásticos causam na natureza e as possibilidades de se reutilizar a matéria em benefício do meio ambiente. Com isso, o caso pode atender às seguintes habilidades previstas nas Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química: “saber planejar e desenvolver processos e operações industriais e saber realizar avaliação

4 Brasil, Ministério da Educação, “Base Nacional Comum Curricular”, disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em: 26 dez. 2022.

crítica da aplicação do conhecimento em química tendo em vista o diagnóstico e o equacionamento de questões sociais e ambientais” (p. 5)⁵.

Este caso pode ser um recurso importante para a promoção de vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)⁶, que se configuram como metas para a preservação do clima e dos ecossistemas, e para promoção de prosperidade e bem-estar físico-social de todos os seres humanos, estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). Especificamente, este caso se relaciona diretamente com o ODS 12, Consumo e Produção Responsáveis, podendo auxiliar na discussão do que foi estabelecido nas metas “12.4 – alcançar o manejo ambientalmente saudável de produtos químicos e resíduos de acordo com os marcos internacionais, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente”, e “12.5 – reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso”.

5.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A partir da narrativa apresentada, pode-se destacar alguns pontos que a tornam atraente ao aluno e relevante para a sua formação, de acordo com critérios propostos por Herreid *et al.*⁷, o que permite ainda classificá-lo como um bom caso. Inicialmente, dada a presença de diálogos e de personagens com características comumente encontradas no cotidiano, o caso apresenta dinamismo, facilidade de leitura, apelo à atenção do leitor e possibilidade de empatia com os personagens, uma vez que são empregados nomes populares e diálogos simples.

Ainda é possível afirmar que o caso possui utilidade pedagógica, considerando que está alinhado a algumas recomendações presentes em documentos curriculares nacionais, como os mencionados anteriormente. Destaca-se também a sua potencialidade no que tange à autoconscientização do uso e descarte do plástico. Ou seja, a seriedade e urgência do problema abordado força os estudantes a tomarem uma decisão e se posicionarem frente às diversas soluções possíveis.

5 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

6 Mikeas Silva de Lima, Ícaro Mota Oliveira e Salete Linhares Queiroz, “Estudo de caso interrompido na promoção de conhecimento ambiental de graduandos em química: resíduos sólidos urbanos em foco”, *Química Nova na Escola*, vol. 44, n. 2, p.149-159, 2022.

7 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

O mundo vem enfrentando diversos problemas com o uso desenfreado de plásticos e sua difícil degradação na natureza. A popularização desse material se iniciou em 1909, quando o primeiro plástico sintético, quimicamente estável, resistente ao calor e comercialmente viável foi inventado por Leo Baekeland. Feito a partir do fenol (C_6H_5OH) e do formaldeído ($HCHO$), por meio do processo de polimerização, surgiu a baquelite que, em pouco tempo, já estava presente na composição de utensílios de cozinha, rádios, telefones, interruptores elétricos, peças automotivas, câmeras fotográficas etc. Diversos outros plásticos foram inventados, tais como o PVC (1913), o náilon (1935) e o teflon (1938), revolucionando nichos da indústria, modificando paisagens, barateando bens de consumos e alterando estilos de vida⁸. No entanto, não levou muito tempo para que, apesar das visíveis facilidades, surgissem problemas associados a tal classe de materiais.

Um estudo divulgado pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) revelou que a produção de plásticos no mundo mais do que duplicou nas últimas duas décadas, chegando ao total de 460 milhões de toneladas em 2019⁹. Deste montante, apenas 9% dos resíduos plásticos são reciclados e 22% não possuem um manejo adequado. O estudo observou, ainda, que em 2020, durante a pandemia de COVID-19, dado o declínio das atividades econômicas, ocorreu uma queda no uso global de plásticos pelas indústrias e setores comerciais de 2,2%, porém, foi registrado um aumento do uso de plásticos descartáveis. Além disso, com a recuperação da economia, o uso de plásticos em geral deverá aumentar novamente, de modo que a OCDE prevê a sua triplicação até o ano de 2060. Em meio a esse cenário, o Brasil é o quarto maior produtor de lixo plástico por ano do mundo e, desse total, apenas 1% é reciclado¹⁰.

Recentemente, tem-se chamado a atenção para o descarte inadequado desse material nos ecossistemas marinhos. Estima-se que a maior parte do lixo plástico presente nos oceanos é proveniente da poluição terrestre. Lá, ele pode ser confundido com comida pelas espécies, podendo provocar problemas e acidentes nos seus sistemas digestivo, respiratório, reprodutivo e imunológico, resultando quase sempre em morte. Mesmo que os plásticos acabem se desintegrando, impulsionados por fatores como a luz do sol, a água e oxigênio, resíduos de tamanho micro ou nano permanecem no oceano, continuando a afetar os organismos aí presentes e, conseqüentemente, os seres humanos, dada a prática de consumo de frutos do mar¹¹.

8 Jerlan Alves da Silva, *Jampa sem canudos: dando o primeiro passo para reduzir o consumo de plástico em João Pessoa*, trabalho de conclusão de curso, João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba, 2018.

9 *Global plastics outlook: policy scenarios to 2060*, Paris, OECD Publishing, 2022.

10 *Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização*, Gland, WWF, 2019.

11 Maxwell Rodrigo de Goes Silva, *Poluição dos oceanos por plástico: histórico, cienciometria e principais lacunas no conhecimento*, dissertação de mestrado, Maceió, Universidade Federal de Alagoas, 2019.

Esta preocupação já levou diversas cidades brasileiras a estabelecerem projetos de leis, em trâmite ou aprovados, para a proibição de diferentes plásticos descartáveis, como sacolas de mercado e canudos. Destaca-se a medida Plástico Zero, em vigor desde abril de 2019, que proíbe a entrada, a comercialização e o uso de plásticos descartáveis no arquipélago de Fernando de Noronha. Entre os itens proibidos estão garrafas plásticas de bebidas abaixo de 500 mL, canudos, copos, talheres descartáveis, sacolas de supermercado compostos por polietilenos, polipropilenos ou similares, com exceção de itens médicos¹².

5.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A principal fonte de inspiração para a elaboração do caso foi a edição número 281, de julho de 2019, da revista *Pesquisa FAPESP*, na qual é possível encontrar artigos de divulgação científica que explicam como os plásticos se tornaram os favoritos das indústrias, do comércio e da população devido às infinitas possibilidades e facilidades que oferecem. Encontram-se, ainda, discussões sobre as razões que fazem com que os plásticos sejam hoje uma ameaça global, oferecendo risco à vida de diversas espécies marinhas, além de um enorme prejuízo ambiental para a Terra. Por fim, são apresentadas alternativas sustentáveis ao uso de plásticos.

5.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Os plásticos são materiais que possuem como matéria-prima uma substância orgânica polimerizada sintética, com elevada maleabilidade e possibilidade de produzir diferentes objetos. Como alternativas ao uso desses materiais, surgiram os bioplásticos, constituídos por matéria orgânica polimérica não-sintética, parcialmente biodegradáveis e menos dependentes de petróleo¹³. A partir disso, são propostas duas soluções.

12 Fernando de Noronha, decreto distrital n. 002, de 12 de dezembro de 2018, disponível em: <https://www.noronha.pe.gov.br/meio-ambiente/noronha-plastico-zero-npz/>, acesso em: 30 dez. 2022.

13 Thais Hessab Moreira de Castro, *Os bioplásticos: impactos ambientais e perspectivas de mercado*, dissertação de mestrado, Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

5.4.1 PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DA CASCA DA BATATA

A primeira solução visa à produção de bioplástico a partir do amido proveniente da casca de batata, resíduo não aproveitado no trailer de petiscos da dona Filó. Um dos principais constituintes da casca da batata é o amido, polímero que vem sendo bastante utilizado na síntese de bioplásticos por ser renovável e passível de ser obtido a partir de diferentes fontes de baixo custo¹⁴. O amido é composto por cadeias de amilose e amilopectina, formadas pela repetição de unidades de D-glicopiranosídeo. A diferença entre os dois componentes é o arranjo da cadeia: enquanto a amilose possui uma cadeia linear formada por ligações $\alpha 1 \rightarrow 4$, a amilopectina possui uma cadeia linear formada por ligações $\alpha 1 \rightarrow 4$ e ramificada com ligações $\alpha 1 \rightarrow 6$ ¹⁵.

O processo de plastificação do amido acontece por meio da fusão dos cristais e do rompimento da organização interna do grânulo do material. Este procedimento pode ser feito por meio de um método conhecido como *casting* (fundição), que consiste na solubilização e aquecimento do amido em um solvente. A solução resultante é colocada em um suporte para promover a evaporação do solvente e a formação de uma matriz que dará origem aos filmes plásticos. A formação do bioplástico acontece por meio da retrogradação das estruturas cristalinas. Com o objetivo de garantir maleabilidade ao polímero, adicionam-se agentes plastificantes, como a glicerina, para evitar que o bioplástico fique quebradiço¹⁶.

Como exemplo, a partir da combinação de féculas de batatas, amido de milho e celulose, a empresa Biome Bioplastics criou um bioplástico que já possui aplicações em setores como embalagens e serviços alimentícios. O material é 100% biodegradável e compostável, ou seja, após o seu uso, ele pode ser descartado tanto em lixeiras de reciclagem de papel quanto nas de lixo orgânico. Destaca-se o seu emprego no setor alimentício, no qual o bioplástico é utilizado para a produção de copos de café, talheres moldados por injeção etc.¹⁷, o que se mostra útil para os serviços do trailer de petiscos da dona Filó.

14 Régis Casimiro Leal e José Machado Moita Neto, “Amido: entre a ciência e a cultura”, *Química Nova na Escola*, vol. 35, n. 2, pp. 75-78, 2013.

15 David Nelson e Michael Cox, *Princípios de Bioquímica de Lehninger*, Porto Alegre, Artmed, 2011.

16 Angélica Aimoto Shimazu *et al.*, “Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca”, *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 28, n. 1, pp. 79-88, 2007.

17 “Product ranges: intelligent plastics, naturally”, *Biome Bioplastics*, disponível em: biomebioplastics.com/product-ranges/, acesso em: 27 dez. 2022.

5.4.2 PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DA CASCA DE CAMARÃO

A segunda solução proposta para este caso é a obtenção da quitosana, a partir da quitina presente nas carapaças de camarões, que também são descartadas pela proprietária do trailer. Isto porque um dos principais constituintes da casca do camarão é a quitina, o segundo biopolímero mais abundante na natureza, ficando atrás apenas da celulose. Dentre as propriedades da quitina, que apresenta uma forma de sólido cristalino ou amorfo, está o fato de ser insolúvel em água, solventes orgânicos, ácidos e álcalis^{18, 19}. Dessa forma, a quitosana pode ser obtida via desacetilação alcalina da quitina. A quitosana, por sua vez, é solúvel em ácidos orgânicos.

Para a obtenção da quitosana, a quitina é extraída da casca do camarão em um procedimento de três etapas: desmineralização, desproteinização e despigmentação, tendo por objetivo a remoção de minerais (CaCO_3), de proteínas e pigmentos. Logo após, é feita a desacetilação para obtenção da quitosana, a qual será submetida ao processo de *casting* com a utilização de ácidos orgânicos para a obtenção do bioplástico e adição de agente plastificante²⁰. O produto gerado é biodegradável, podendo ser reciclado ou descartado em composteira. Além disso, sendo originado de compostos orgânicos, o material pode fornecer nutrientes ao solo²¹.

Algumas pesquisas buscam trazer melhorias ao bioplástico, alinhando as substâncias provenientes dos crustáceos ao pó de madeira (celulose), garantindo, assim, um formato tridimensional ao produto²². A partir disso, o material encontra aplicações na fabricação de vasilhas, as quais podem também ser utilizadas no trailer de petiscos da dona Filó. Outra melhoria diz respeito à combinação da quitina com a fibroína, proteína que constitui a seda. Como resultado, obtém-se um bioplástico flexível, durável, insolúvel e transparente, com decomposição 1,5 milhões de vezes mais rápida que a dos plásticos convencionais²³.

18 Niuris Acosta *et al.*, "Extraction and characterization of chitin from crustaceans", *Biomass and Bioenergy*, vol. 5, n. 2, p. 145-153, 1993.

19 Marguerite Rinaudo, "Chitin and chitosan: properties and applications", *Progress in Polymer Science*, vol. 31, n. 7, p. 603-632, 2006.

20 Lorena O. Felipe *et al.*, "Quitosana: da química básica à bioengenharia", *Química Nova na Escola*, v. 39, n. 4, pp. 312-320, 2017.

21 "Plástico de camarão", *Observatório Juventude C e T (Fiocruz)*, disponível em: <http://www.juventudect.fiocruz.br/de-olho-na-ciencia/plastico-de-camarao>, acesso em 27 dez. 2022.

22 "Bioplastics: environmentally-friendly plastics that biodegrade and require less energy to make", *Wyss Institute*, disponível em: wyss.harvard.edu/technology/bioplastic/, acesso em: 27 dez. 2022.

23 Scott Snowden, "Australian student creates strong biodegradable plastic made from shrimp shells", *Forbes*, disponível em: forbes.com/sites/scottsnowden/2020/05/12/australian-student-creates-strong-biodegradable-plastic-made-from-shrimp-shells/, acesso em: 27 dez. 2022.

Além das duas propostas anteriormente citadas, uma outra sugestão seria a compostagem, que se configura como processo biológico de decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio, temperatura e umidade, que ganhou bastante popularidade ultimamente, dada a sustentabilidade, já que gera fertilizante ou adubo orgânico²⁴. Restos de comida e outros resíduos orgânicos poderiam ser compostados pela dona da barraca de comida. Sugere-se ainda o uso mais consciente dos plásticos, substituindo-os quando possível e destinando-os à reciclagem.

5.5 PARA SABER MAIS

5.5.1 A PROMESSA DOS BIOPLÁSTICOS

Atualmente, o mercado dispõe de diferentes grupos de bioplásticos, sendo os mais comuns o ácido polilático (PLA), o polibutileno adipato co-tereftalato (PBAT), o polisuccinato de butileno (PBS), além do politereftalato de etileno (PET) e o polietileno (PE), ambos de fonte renovável. Diante disto, o texto de divulgação científica²⁵ em destaque apresenta um panorama no avanço no uso dos bioplásticos no mundo e no Brasil, tratando também das diferenças entre os bioplásticos e os plásticos convencionais, tanto em termos de matéria-prima utilizada quanto no quesito biodegradabilidade, o que afeta diretamente suas propriedades e aplicações.

5.5.2 DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS OBTIDOS A PARTIR DE AMIDO DE MILHO: UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL DE PRODUÇÃO DE BIOFILMES EM SALA DE AULA

Artigo²⁶ que apresenta a importância dos plásticos e bioplásticos, propondo uma atividade experimental para o ensino médio com enfoque na preparação de filmes biodegradáveis de baixo custo e simples execução. São ainda utilizados materiais de fácil aquisição, tais como amido de milho, glicerol, sorbato de potás-

24 Minelly Azevedo da Silva *et al.*, “Compostagem: experimentação problematizadora e recurso interdisciplinar no ensino de química”, *Química Nova na Escola*, vol. 37, n. 1, pp. 71-81, 2015.

25 Frances Jones, “A promessa dos bioplásticos”, *Pesquisa FAPESP*, n. 290, p. 73-76, 2020.

26 Ingrid Altmann, Nara R. Atz e Simone M. L. Rosa, “Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos a partir de amido de milho: uma proposta experimental de produção de biofilmes em sala de aula”, *Química Nova na Escola*, vol. 40, n. 1, pp. 53-58, 2018.

sio e água e a técnica *casting*. A sequência didática abre espaço para a discussão de conteúdos como polímeros, ácidos e bases, concentração das soluções, que, dada a abordagem ambiental, promovem o desenvolvimento de consciência ambiental na sala de aula e cotidiano dos estudantes.

ESTUDO DE CASO: EL CASO DE PAPEL

CAROLINA SOTÉRIO¹

RAFAEL DE JESUS DEFLON²

No ano de 2019, uma organização criminosa tramou o maior roubo da Espanha: um assalto à Casa da Moeda do país. Uniformizados e trajando máscaras, o grupo, que havia se preparado por um ano todo em segredo, colocou seu plano em prática, lucrando um bilhão de euros. Após esse episódio, uma série de ações criminosas de natureza parecida começaram a surgir pelo mundo, inclusive no Brasil. Era uma sexta-feira no departamento de perícia criminal quando a doutora Marie recebeu um telefonema:

– É da polícia científica de São Paulo? – perguntou um representante do Ministério da Justiça e Segurança Pública.

– Sim, é a Marie – respondeu a química especializada em casos de falsificação.

– Já viu os noticiários? Vai ter muito trabalho pra você e o Pierre.

– Ainda não, o que houve?

– A Criminais atacou novamente, dessa vez imitando o pessoal de fora. Eles resolveram deixar uma marca e distribuíram pela capital uma montanha de dinheiro formada por cédulas de 100 reais. Eles estão ao vivo na internet para noticiar aos cidadãos o acontecido pelas mídias sociais.

– E de quanto dinheiro estamos falando? – perguntou a química, já conectando o celular ao vídeo.

– UM TRILHÃO DE REAIS.

Essa atitude da Criminais, uma quadrilha do estado de São Paulo, provocou caos em todo o país. Todavia, não se sabe se o dinheiro é verdadeiro ou não, mas a equipe da Marie e Pierre da perícia química estadual foi notificada para trabalhar no caso a pedido do governo federal.

1 Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

2 Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

- Por onde devemos começar, doutora Marie? – questionou o representante
- Em breve o presidente vai ter que ir à imprensa prestar contas de como iremos resolver o caso.
- É um caso de documentoscopia então.
- Documenta o quê?
- D-o-c-u-m-e-n-t-o-s-c-o-p-i-a – disse Marie pausadamente – É o estudo de documentos para verificar se são verdadeiros ou não. No nosso caso, o papel-moeda.
- Bom, eu conto com você. O pronunciamento do presidente será hoje à noite e precisamos de respostas.

Como se sabe, as cédulas de dinheiro possuem diversas características para permitir a distinção entre verdadeiras e falsas, que servem como um recurso de segurança. As notas verdadeiras contam com marcas d'água, marca de registro coincidente, fibras coloridas, impressões em alto relevo, fio de segurança com propriedade magnética, combinação de tintas para coloração, fibras luminescentes, assinaturas de servidores públicos relevantes, imagem latente, numeração, microimpressões, entre outras coisas. Com o avanço da tecnologia, vários métodos de identificação têm surgido, como as canetas que marcam um risco escuro em notas falsas. Mas, infelizmente, os criminosos também estão utilizando de conhecimentos de ciência ao seu favor, e já começaram a usar parafina nas cédulas para que a tinta das canetas não entre no papel-moeda.

A proposta agora é que você, como integrante da equipe de perícia da Marie e do Pierre, utilize seus conhecimentos de química e proponha pelo menos dois métodos de identificação de dinheiro falsificado e argumente a favor de um deles.

6.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso traz em seu cerne questões relativas a problemáticas reais enfrentadas pela humanidade a respeito da falsificação de dinheiro, que implicam em diversas esferas da manutenção da sociedade, abrindo espaço para discussões que vão desde princípios éticos e morais até a sua regulação econômica.

O conflito presente na narrativa propicia reflexões sobre o assunto em questão e estimula habilidades desejáveis na formação de estudantes em química. Segundo as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química³, estes

3 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

devem receber uma preparação generalista, que englobe a resolução criativa de problemas, tomada de decisões e avaliação dos impactos dela oriundos. No que diz respeito à formação pessoal esperada, a narrativa do caso oferece subsídios para o desenvolvimento de habilidades presentes nos itens sobre “interessar-se pelos aspectos sociais, culturais, políticos e econômicos da vida da comunidade a que pertence” (p. 3) e “estar engajado na luta pela cidadania como condição para a construção de uma sociedade justa, democrática e responsável” (p. 3), uma vez que a problemática de falsificação de dinheiro envolve políticas públicas de segurança e conscientização popular sobre o assunto.

Ainda, relacionado à aplicação do conhecimento em química, o mesmo documento ressalta a importância do graduando “ter consciência da importância social da profissão como possibilidade de desenvolvimento social e coletivo” (p. 4), passível de abordagem na narrativa quando a polícia científica é acionada, demonstrando as contribuições que as habilidades de um profissional dessa área podem ter para a resolução de conflitos de nível social. No que tange à profissão, o documento reitera a “capacidade de disseminar e difundir e/ou utilizar o conhecimento relevante para a comunidade” (p. 4), destacada na trama do caso, no que diz respeito à necessidade de informar a população sobre as ações a serem tomadas e situá-la sobre a problemática de forma efetiva, por meio do discurso presidencial.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC)⁴, por sua vez, destaca a competência:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (p. 9).

No que diz respeito à formação em Ciências da Natureza e suas Tecnologias no contexto do ensino médio, o mesmo documento curricular reitera a contextualização da ciência em seu aspecto social e a ênfase nos processos e práticas investigativas, com a finalidade de promover habilidades relacionadas ao teste de hipóteses, planejamento de atividades, análise de dados, comunicação de conclusões e propostas interventivas.

4 Brasil, Ministério da Educação, “Base Nacional Comum Curricular”, disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em: 26 dez. 2022.

O presente estudo de caso também é conveniente para aplicação no ensino médio por tratar de um tema amplo (falsificação de documentos), ao alcance de vários níveis de compreensão. Ademais, uma vez que o caso envolve a proposta de um discurso presidencial, disciplinas de língua portuguesa e redação, por exemplo, podem abordar o gênero carta aberta para explorar a temática e sua resolução no contexto da comunicação pública da ciência e tecnologia. Para isso, o docente pode, primeiramente, elaborar uma aula sobre os elementos que caracterizam uma carta aberta e acompanhar o desenvolvimento do caso ao longo da resolução, solicitando versões escritas para correção. Depois do material corrigido é possível a sua utilização por parte dos alunos para a apresentação da solução do caso aos colegas de sala.

O presente estudo de caso engloba noções de diferentes áreas do conhecimento das ciências naturais e humanas. Nesse sentido, propicia o estudo tanto de conceitos de natureza técnica para a elaboração de propostas de análise dos dados, quanto no sentido mais amplo, de avaliar as implicações sociais da questão-chave e a comunicação da mesma para a comunidade.

6.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A falsificação de dinheiro é um problema real da sociedade. O uso de dinheiro, considerando-se o emprego de moedas padronizadas pelo Estado, existe na sociedade ocidental há cerca de 28 séculos, sendo um dos hábitos mais importantes para o desenvolvimento da humanidade como sociedade. Todavia, desde sua criação, o sistema monetário enfrenta problemas com falsificação⁵.

A princípio, os falsificadores produziam cópias das moedas com metais menos preciosos ou peças mais leves que as oficiais, assim, sendo consequentemente mais baratas e, na grande maioria das vezes, os criminosos saíam impunes pelos seus crimes, pois não existiam muitos recursos de segurança contra falsificação do dinheiro à época⁶. Atualmente, o sistema do papel-moeda é o mais utilizado no mundo para comércio físico. O sistema consiste em trocas baseadas em valores relativos a títulos emitidos pelos Estados: o papel-moeda. Estes títulos são materializados na forma de cédulas, específicas para cada Estado que os emite⁷.

5 “Como surgiu o dinheiro”, *Redação Superinteressante*, 28 fev. 2002, disponível em: <https://super.abril.com.br/cultura/como-surgiu-o-dinheiro>, acesso em: 27 dez 2022.

6 Jack Weatherfor, *A história do dinheiro*, São Paulo, Campus, 2006.

7 Raquel Mari Morioka e Roberto Ribeiro da Silva, “A atividade de penhor e a química”, *Química Nova na Escola*, vol. 34, n. 3, pp. 111-117, 2012.

Graças ao desenvolvimento tecnológico, foram criadas uma série de medidas de segurança para as cédulas de dinheiro a fim de evitar falsificações, tais como marcas d'água, uso de papéis especiais, métodos de coloração, entre outros⁸. Contudo, a falsificação não foi extinta, pois embora fabricar uma cópia perfeita do dinheiro seja praticamente impossível nos dias atuais, os falsificadores produzem falsificações que sejam parecidas apenas o suficiente para que possam “lavar” o dinheiro no mercado comum, de tal modo que as imperfeições não sejam percebidas por comerciantes e os criminosos possam enganá-los: mais de 308 mil cédulas foram retidas pelo Banco Central do Brasil, segundo dados de 2021, totalizando cerca de 28 milhões de reais falsos que circularam no mercado brasileiro apenas por cédulas falsas, sendo a maioria no valor de cem reais (mais de 126 mil cédulas)⁹.

Nos dias de hoje várias técnicas de falsificação estão ativas, inclusive para evitar os equipamentos de detecção. Um dos exemplos é o relato de aplicação de parafina nas cédulas de dinheiro para que não seja possível a aplicação das canetas detectoras de papel-moeda falsificado¹⁰.

A narrativa apresenta diversos aspectos que a caracterizam como um bom caso, segundo Herreid *et al.*¹¹ O tema forense é cotidiano, intrigante e apelativo, motivando o engajamento do estudante a desenvolver o trabalho sobre o assunto proposto sem depender especificamente de algo factual. É um caso que “não sai de moda”, está sempre atual e retratado nas mídias (a partir de fatos verídicos ou produções artísticas), permitindo uma aproximação do leitor com a realidade sem depender do fator tempo.

O cenário de pronunciamento presidencial, questões de falsificação de dinheiro, uso das mídias sociais e cotidiano de laboratório despertam empatia com os personagens centrais, uma vez que retratam situações sobre as quais os cidadãos são informados constantemente.

O caso reitera um conflito e força uma decisão. O estudante, para solucionar o problema, precisa considerar cuidadosamente as informações dadas: é necessário pensar em técnicas a partir das características das cédulas e se adequar a uma solução que considerar ideal dentre várias possibilidades.

8 Banco Central do Brasil, *Itens de segurança cédula de 100 reais*, disponível em: <https://www.bcb.gov.br/cedulasemoedas/notadecem>, acesso em: 27 dez. 2022.

9 Banco Central do Brasil, *Estatísticas de falsificação – 2021*, disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/estatisticas/mecirestfalsas/EstatisticaFalsificacao%20-%20UF%20X%20Denominacao_internet_2021.pdf, acesso em: 27 dez. 2022.

10 “Canetas especiais não identificam mais notas falsas de dinheiro”, *Forquilha Notícias*, 6 fev. 2018, disponível em: <https://www.forquilha.com.br/canetas-especiais-nao-identificam-mais-notas-falsas-dinheiro/>, acesso em: 27 dez. 2022.

11 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

Para contribuir no delineamento das características dos personagens envolvidos na trama, o caso inclui diálogos em uma narrativa curta. Ler uma história concisa, na qual os personagens falam com suas próprias vozes, ajuda na construção de um enredo dramático.

Ainda, por meio da narrativa, o caso permite que o leitor se engaje em questões relacionadas à química e áreas correlatas, mostrando uma forma de aplicação dos conceitos teóricos e demonstrando sua utilidade pedagógica.

6.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

O assunto abordado no caso tem como fonte de inspiração uma produção audiovisual sobre o tema e um texto de divulgação científica que discute as principais características da cédula de dinheiro e seu processo de fabricação.

6.3.1 LA CASA DE PAPEL (SÉRIE CRIADA POR ÁLEX PINA)

No contexto de um roubo milionário, uma quadrilha de assaltantes planeja por longos meses o assalto de suas vidas: tomar a Casa da Moeda da Espanha e fabricar o seu próprio dinheiro em poucas horas, mantendo os funcionários do local trabalhando sob a condição de reféns. Para não serem identificados, o roubo é planejado de forma uniformizada, na qual os assaltantes se comunicam pelo nome de cidades, ao invés dos nomes próprios, vestem macacões vermelhos e máscaras de Salvador Dali.

Na terceira temporada, a série tem início com o grupo de assaltantes anunciando a própria volta às atividades por meio do lançamento de várias cédulas de dinheiro de um zepelim com a marca de Dali. A população fica enlouquecida e para tudo o que está fazendo para recolher o dinheiro distribuído.

6.3.2 DINHEIRO SIM: DURÁVEL, SEGURO E SECRETO. COMO SÃO FEITAS AS NOTAS BRASILEIRAS

Este artigo de divulgação científica¹² traz em seu escopo o método de fabricação de dinheiro no Brasil. Com uma série de informações sobre o assunto, tais

12 “Dinheiro sim: durável, seguro, secreto. Como são feitas as notas brasileiras”, *Redação Superinteressante*, 30 jun. 1994, disponível em: <https://super.abril.com.br/comportamento/dinheiro-sim-duravel-seguro-secreto-como-sao-feitas-as-notas-brasileiras/>, acesso em: 29 dez. 2022.

como a composição, as estratégias de segurança contra falsificação, os fornecedores do papel, entre outros, o texto se mostra muito atrativo e de fácil compreensão, tendo assim motivado a escolha do tema.

6.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

6.4.1 LUZ NEGRA

A luz negra se baseia no fenômeno da luminescência para visualização de materiais por meio da emissão de luz ultravioleta¹³. Conforme citado ao longo da narrativa, uma das características do papel-moeda brasileiro é justamente o fato de possuir em sua composição um material luminescente na forma de fibras. Sua identificação pode se dar pela exposição à radiação ultravioleta-visível disponível na luz negra. Quando em contato com essa faixa de frequência, as fibras adquirem cor lilás e tornam-se passíveis de serem identificadas.

A luz emitida pelas lâmpadas fluorescentes comuns está relacionada com a presença de uma fina camada de sais de fósforo que reveste o tubo, já a luz negra nada mais é que a lâmpada fluorescente comum tingida de preto e sem a camada de fósforo, deixando passar a radiação ultravioleta¹⁴.

No fenômeno de luminescência são os sais de fósforo que emitem radiação visível quando excitados pela luz ultravioleta. No entanto, na ausência do material ao redor da lâmpada, são os objetos do ambiente que desempenham este papel. Esse acontecimento está relacionado com o ganho de energia dos elétrons, migrando para níveis não estáveis. Quando retornam aos níveis fundamentais, liberam energia na forma de luz (salto quântico)¹⁵.

A utilização da luz negra se destaca como a alternativa mais vantajosa para a resolução do caso por possuir uma gama de informações de fácil acesso disponíveis sobre seu funcionamento e ser um equipamento portátil, facilitando o cumprimento da proposta. Ainda, o processo de utilização da luz negra envolve majoritariamente a compreensão básica do fenômeno envolvido para sua explicação.

13 Fred Linardi, “O que é luz negra?”, *Redação Superinteressante*, 8 mar. 2010, disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/o-que-e-luz-negra/>, acesso em: 29 dez. 2022.

14 Rafael Helerbrock, “Como funciona a luz negra?” *UOL*, disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/como-funciona-luz-negra.htm>, acesso em: 29 dez. 2022.

15 Juliano A. Elias *et al.*, “O escorpião fluorescente: uma proposta interdisciplinar para o ensino médio”, *Química Nova na Escola*, vol. 39, n. 3, pp. 286-290, 2017.

6.4.2 INFRAVERMELHO

A técnica de espectroscopia de absorção na região do infravermelho se baseia no princípio de que as frequências de vibrações das moléculas correspondem a diferentes níveis de energia. Por meio da incidência de radiação infravermelha é possível registrar a energia transmitida (ou absorvida) pelo material de análise. No espectro de absorção na região do infravermelho esse registro é marcado pelo número de onda e transmitância, de forma que determinados valores podem ser atribuídos a ligações específicas na molécula em estudo¹⁶.

Pesquisadores do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, do Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial e da Polícia Federal Brasileira, relataram a utilização de novas técnicas para identificação de documentos falsos, entre eles o papel-moeda. Por meio de comparação com a utilização de canetas esferográficas e impressora a laser para falsificar o papel, foi possível identificar regiões características do espectro de infravermelho: 1724 cm^{-1} (estiramento C=O, poliestireno-coacrilato) para a impressora a laser e 1584 cm^{-1} (estiramento C=C, resina epóxico) para a caneta esferográfica. Esse processo envolve o uso da espectroscopia de imagem, uma combinação da espectroscopia vibracional com a imagem digital¹⁷.

Essa resolução requer a compreensão de noções avançadas de análises químicas. Uma vez escolhida, os estudantes precisam relatar as regiões espectrais nas quais são esperadas observações de estiramentos característicos. Ainda, espectros de absorção na região do infravermelho podem ser simulados pelo professor e entregues aos estudantes para análise de dados que auxiliem na resolução do caso.

6.4.3 CROMATOGRAFIA

Baseada em um método de separação físico-químico, a cromatografia utiliza os conceitos de fase móvel e estacionária (imiscíveis entre si) para seu funcionamento. Assim, uma mistura pode ter seus componentes interagindo com as diferentes fases. Essa técnica pode variar desde princípios simples, como a cro-

16 Diego de Oliveira Leite e Rogério Junqueira Prado, “Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o ensino médio”, *Revista Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 34, n.2, pp. 1-9, 2012.

17 Wanderson Romão *et al.*, “Química forense: perspectivas sobre novos métodos analíticos aplicados à documentoscopia, balística e drogas de abuso”, *Química Nova*, vol. 34, n. 10, pp. 1717-1728, 2011.

matografia em papel, até a utilização de equipamentos mais avançados, como a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)¹⁸.

Como mencionado, o papel-moeda recebe a aplicação de tintas diferentes para adquirir a coloração exata e oficial. Nesse sentido, técnicas cromatográficas podem ser aplicadas para a identificação e observação dos padrões de tintura. Para isso, podem ser usadas desde técnicas mais clássicas até equipamentos mais sofisticados, podendo ser empregada na resolução de estudantes de diferentes níveis de formação.

6.4.4 LENTES DE AUMENTO

Uma das formas de permitir a visualização de materiais não visíveis a olho nu é a utilização de lentes, mais especificamente, das lentes de aumento. Podem ser exploradas também técnicas de microscopia, que envolvem a obtenção de imagens ampliadas¹⁹.

Como comentado no caso, a cédula de dinheiro possui microimpressões ao longo do material como, por exemplo, as iniciais do Banco Central (B. C.). Para observá-las, a fim de detectar se o papel-moeda é de fato autêntico, o estudante pode sugerir a utilização de lentes de aumento e equipamentos que as contenham, como microscópios. No âmbito comercial, vários equipamentos portáteis já estão disponíveis para essa finalidade²⁰. Essa resolução permite explorar conceitos de óptica e até mesmo a adequação da proposta como uma prática, efetivamente, para observação real da cédula.

6.5 PARA SABER MAIS

6.5.1 A PERÍCIA CRIMINAL E A INTERDISCIPLINARIDADE NO ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS

O artigo²¹ traz um relato de aplicação de atividade interdisciplinar baseada em perícia criminal para o ensino de química, dispondo de um paralelo com conteú-

18 Ana Luiza G. Degani, Quezia B. Cass e Paulo C. Vieira, “Cromatografia: um breve ensaio”, *Química Nova*, n. 7, pp. 21-25, 1998.

19 Dalva Lúcia Araújo de Faria e Thiago Sevilhano Puglieri, “Um exemplo de aplicação da microscopia Raman na autenticação de obras de arte”, *Química Nova*, vol. 34, n. 8, pp. 1323-1327, 2011.

20 Bruno V. Vittorazzia *et al.*, “Classificando cédulas brasileiras (R\$) usando análise de imagem por *smartphone*”, *Química Nova*, vol. 43, n. 4, pp. 447-454, 2020.

21 Claudemir Rodrigues Dias Filho e Edilson Antedomenico, “A perícia criminal e a interdisciplinaridade no ensino de ciências naturais”, *Química Nova na Escola*, vol. 32, n. 2, pp. 67-72, 2010.

dos midiáticos e personagens de ficção científica (reportagens e seriados sobre o assunto). Além disso, são feitas propostas experimentais e abordagens teóricas.

6.5.2 QUÍMICA FORENSE: UMA ABORDAGEM TEÓRICA, LÚDICA E EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE QUÍMICA

O livro²², destinado a professores de química da educação básica, relaciona a temática forense a estratégias lúdicas de ensino e aprendizagem e à experimentação. Nele são apresentadas entrevistas com peritos criminais, relatados casos reais noticiados na mídia, além de indicadas formas de como realizar a montagem de cenários criminais, tendo em vista a imersão dos estudantes nas situações em análise, dentre outros recursos.

22 Douglas Freitas de Oliveira e Elane Chaveiro Soares, *Química forense: uma abordagem teórica, lúdica e experimental para o ensino de química*, Campinas, Editora Átomo, 2021.

ESTUDO DE CASO:

SORO: DO LIXO AO LUXO

MIRELLA ROMANELLI VICENTE BERTOLO¹

ORLANDO CÉLIO CAMPOVILLA JUNIOR²

GUILHERME BALESTIERO DA SILVA³

Pedro Ogro, estudante do último ano de um curso de química em uma universidade pública do estado de São Paulo, conseguiu um estágio em uma indústria de queijos, no interior de Minas Gerais, na cidade de Leitópolis, próxima à sua cidade natal.

Os habitantes de Leitópolis são muito simples, com um estilo de vida diferente do que Pedro Ogro estava acostumado em São Paulo, capital. A população da pequena cidade consome principalmente produtos locais e não tem acesso amplo a recursos vindos de outros lugares. A sua economia gira em função da indústria de queijos, chamada Queijjin d’Bão, que existe desde a época da “política do café com leite” e vem passando de geração em geração, estando agora sob a direção do senhor Queijjadinha.

A cidade conta um grande rebanho de vacas leiteiras, fornecedor da matéria-prima para a indústria do senhor Queijjadinha, a qual, por muito tempo, produziu queijos principalmente para seus habitantes. No entanto, o fornecimento do produto para outros locais do Brasil tem aumentado nos últimos anos, além de ter ocorrido a sua diversificação, com a fabricação de queijos finos, como o gouda, gruyère, emmental, gorgonzola e brie.

Com a expansão da produção, foi contratado o estagiário Pedro Ogro, na expectativa de que, futuramente, possa vir a atuar como químico, cargo que ainda não existe na indústria. O proprietário espera desse profissional a execução do controle de qualidade e o desenvolvimento de novos produtos.

1 Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

2 Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

Depois de algumas semanas trabalhando na Queijin d'Bão, Pedro Ogro percebeu que, apesar de produzir grandes quantidades de queijo de forma eficiente, toneladas de soro de leite eram geradas como subproduto. Este, além de não ser reaproveitado, era também descartado inadequadamente. Ele se deu conta de que poderia utilizar os conhecimentos adquiridos durante a graduação para dar um destino mais adequado e rentável para o soro.

Coloque-se no lugar de Pedro Ogro e proponha ao senhor Queijadinha maneiras de reaproveitar o soro do leite gerado na Queijin d'Bão, argumentando a favor de uma delas.

7.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

Presente na mesa de muitas famílias, a produção de queijo industrial e artesanal movimentava bilhões de reais no país, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor⁴. Contudo, o soro do leite, resíduo gerado no processo, acarreta sérios prejuízos ambientais quando o seu descarte é realizado de forma inapropriada. Ao abordar a produção de queijo da indústria Queijin d'Bão, onde Pedro Ogro realiza seu estágio, o estudo de caso trata dessa problemática e gera especulações sobre a possibilidade de aproveitamento do resíduo em diferentes setores industriais⁵.

De acordo com Queiroz, Mata e Ferreira⁶, cerca de 80% a 90% do volume de leite utilizado na produção de queijo diz respeito ao soro do leite, ou seja, da produção de um quilo de queijo, são obtidos, aproximadamente, nove quilos de soro. Nessa perspectiva, não é surpreendente que, dentre as indústrias alimentícias, as de laticínios sejam consideradas como muito poluentes, pois além do grande consumo de água envolvido, seus efluentes líquidos gerados, como o soro do leite, possuem elevados teores de matéria orgânica, gordura, sólidos suspensos e nutrientes⁷.

4 Katia S. P. Perry, "Queijos: aspectos químicos, bioquímicos e microbiológicos", *Química Nova*, v. 27, n. 2, pp. 293-300, 2004.

5 Rosana de Oliveira Pithan Silva, Carlos Roberto Ferreira Bueno e Patrícia Blumer Zacarcheco Sá, "Aspectos relativos à produção de soro de leite no Brasil, 2001-2016", *Informações Econômicas*, v. 47, n.2, pp. 5-17, 2017.

6 Samira Furtado Queiroz, Jhansley Ferreira da Mata e Osania Emerenciano Ferreira, "Produção de leite e queijo bovino da indústria laticinista Miraleite no Triângulo Mineiro", *Cadernos de Pós-graduação da FAZU*, v. 2, pp. 1-5, 2012.

7 Laura Hamdan Andrade, *Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso*, dissertação de mestrado, Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

No que diz respeito ao descarte industrial de efluentes líquidos, é sabido, de acordo com as Resoluções 20, de 18 de junho de 1986⁸ e 430, de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente⁹, que estes não podem ser lançados diretamente em cursos d'água. Segundo tais Resoluções, todo e qualquer resíduo que altere as características naturais das águas devem ser removidos antes do seu descarte, sendo obrigatório um pré-tratamento, para posterior lançamento na natureza.

O estudo de caso envolvendo o descarte de efluentes, como os gerados na indústria do senhor Queijadinha, abre margem para discussões em ambientes de ensino, sendo uma delas a razão pela qual muitos laticínios, apesar do que é determinado legalmente, não realizam o tratamento de seus resíduos. Conforme afirma Teixeira¹⁰, isso pode ser devido a fatores como a falta de conhecimento da legislação, o que é comum em pequenas indústrias do interior brasileiro, ou ainda ao alto custo do tratamento dos efluentes. Nesse contexto, o estudante, ao buscar soluções para o caso, pode levar em consideração não somente aspectos técnicos envolvidos na produção de queijo, como também aspectos ambientais.

O problema apresentado na narrativa tem, portanto, grande potencial para associar o ensino de química à educação ambiental, a qual tem sido preconizada por documentos oficiais que regem a educação brasileira^{11, 12}. A aplicação do caso está alinhada às ações de caráter educativo que fomentam a conscientização dos estudantes sobre a necessidade de proteção do meio ambiente. Além da abordagem de assuntos capazes de desenvolver atitudes sadias de respeito à natureza, tópicos como matéria orgânica e suas relações com a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) são passíveis de discussão em sala de aula, pois a alta carga orgânica presente no soro do leite pode causar efeitos adversos à qualidade das águas e à manutenção da vida nesse meio.

Também ganha evidência na narrativa do caso o estudo de macromoléculas, como proteínas, lipídios, carboidratos, uma vez que, para a avaliação e proposição de resoluções para a conversão do soro de leite em outros compostos de valor agregado, o conhecimento da sua composição é imprescindível. Os processos

8 Brasil, resolução n. 20, de 18 de junho de 1986, disponível em: <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=95504>, acesso em: 29 dez. 2022.

9 Brasil, resolução n. 430, de 13 de maio de 2011, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/legislacao/resolucao-no-430-de-13-de-maio-de-2011>, acesso em: 29 dez. 2022.

10 Carlos Oliveira Teixeira, *Efluentes de laticínios, enquadramento legal e a representação dos técnicos e gerentes*, dissertação de mestrado, Juiz de Fora, Universidade Federal Juiz de Fora, 2011.

11 Brasil, Ministério da Educação, “Proposta de Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao13.pdf>, acesso em: 29 dez. 2022.

12 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

envolvidos na produção de queijos e, conseqüentemente, na produção do soro de leite, podem também permear as discussões, trazendo à tona conceitos como pasteurização e coagulação do leite.

7.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O Brasil está entre os cinco maiores produtores de queijo do mundo. Produzindo em média 1,2 milhões de toneladas de queijo ao ano, valor equivalente ao da Itália, o país fica atrás apenas dos Estados Unidos (5,3 milhões), Alemanha (2,2 milhões) e França (2 milhões). A quantidade de queijo para exportação é praticamente inexistente, sendo basicamente todo o queijo produzido em território nacional para consumo próprio¹³. A fabricação de quantidade elevada do produto e consequente geração exacerbada de efluentes líquidos torna imperativa a apresentação de propostas que ajudem a aplacar as preocupações ambientais.

Tendo em vista o exposto, a atualidade e relevância do tema conferem à narrativa qualidades apontadas como essenciais para a construção de um bom caso, na perspectiva de Herreid *et al*¹⁴. Com efeito, o soro do leite, apesar de ser pouco abordado, corresponde a um dos maiores resíduos agroindustriais do Brasil, país essencialmente agrário, cuja extensão territorial, localização e clima favorecem a criação de gado. Este conjunto de animais pode ser utilizado tanto para a obtenção de produtos cárneos quanto lácteos, e os problemas relacionados ao seu desperdício ou mau aproveitamento são de extrema importância, não só econômica como também ambiental.

Com um texto curto e direto, o estudo de caso contém outros elementos capazes de promover o interesse dos estudantes para a questão levantada. Um deles consiste na possibilidade de empatia com os personagens retratados na narrativa, mesmo com a ausência de diálogos. Tal sentimento pode ser nutrido com relação ao senhor Queijadinha, que além de prejudicar inadvertidamente o meio ambiente, deixa de obter lucro com o resíduo descartado. Além disso, o humor embutido no nome dos personagens, da própria indústria Queijim d'Bão e da cidade de Leitópolis, contribui para tornar a leitura atrativa.

13 Lucas Soares e Fernanda Rodrigues, “Com 25% da produção nacional, MG aposta no queijo como saída da crise e geração de renda”, *G1 Sul de Minas*, 20 maio 2019, disponível em: <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/minas-dos-queijos/noticia/2019/05/20/com-25percent-da-producao-nacional-mg-aposta-no-queijo-como-saida-para-crise-e-geracao-de-renda.ghtml>, acesso em: 30 dez. 2022.

14 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

O estudo de caso ainda apresenta um conflito, ao contrapor a preservação ambiental e o crescimento econômico, solicitando do estudante uma tomada de decisão. Conflitos dessas naturezas permeiam muitas situações atualmente, em várias esferas, sendo importante o oferecimento de subsídios para o entendimento de aspectos que permitem o seu enfrentamento, inclusive por parte da escola.

Uma vez que o estudo de caso aborda o descarte inadequado e o não reaproveitamento de resíduos, comuns em diferentes setores industriais, traz em seu bojo outra característica que o qualifica positivamente: a possibilidade de generalização quanto ao conhecimento que resulta da sua resolução, transferível para outros contextos similares.

7.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

As fontes de inspiração para a produção do caso foram a vivência e a experiência dos dois primeiros autores, com destaque para o contato que tiveram com disciplinas cursadas no Curso de Bacharelado em Química (ênfase em Alimentos), do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo. Na ocasião, ambos tiveram a oportunidade de acompanhar o processo de produção de queijo, a partir do leite de vaca, deparando-se com a questão do reaproveitamento do soro gerado.

A vivência dos autores e conhecimentos de senso comum também estão sobressalentes na narrativa. Embora este estudo de caso tenha sido produzido no estado de São Paulo, a associação que grande parte dos brasileiros faz entre queijos e o estado de Minas Gerais foi fundamental para a escolha do cenário: a cidade fictícia de Leitópolis.

7.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

A produção de queijo fundamenta-se, principalmente, na composição proteica do leite. De forma simplificada, as proteínas do leite são divididas em dois grupos: caseínas e proteínas do soro. A produção do queijo se baseia na separação dessas duas classes de proteínas e, para isso, utiliza-se a enzima renina, também conhecida como quimosina. Ela está entre as proteases animais mais importantes em termos comerciais, apresentando grande valor para a indústria de alimentos.

Durante o processo, a renina proporciona a precipitação das caseínas do leite, o que permite a separação dessa massa gerada, que será transformada no queijo. Contudo, algumas proteínas continuam solubilizadas no soro¹⁵.

Devido à sua composição básica, isto é, água, proteínas, lactose e minerais, o soro do leite tem utilizações que poderiam se configurar como soluções ao caso, tais como o emprego por produtores rurais, misturado às rações, para alimentação animal, e o emprego pela indústria alimentícia na produção de seus derivados, tais como ricota, leites fermentados, bebidas lácteas, sobremesas lácteas, produtos cárneos e de panificação etc.¹⁶.

7.4.1 PRODUÇÃO DE RICOTA

Uma das possibilidades de reaproveitamento do soro liberado na produção do queijo é a obtenção de outro tipo de queijo muito valorizado: o queijo tipo ricota. O princípio básico da fabricação da ricota, também conhecida como “queijo albumina” é a desnaturação das proteínas presentes no soro e sua precipitação pelo calor, sob a influência de acidificação.

O processo de produção de ricota exige, inicialmente, o aquecimento do soro a uma temperatura de 85°C e adição de um acidulante (ex: ácido láctico) até pH próximo de 4,5 (atingindo o ponto isoeletrico [pI] da proteína). O ponto isoeletrico equivale ao valor de pH no qual a proteína/aminoácido apresenta carga elétrica líquida neutra. A verificação periódica do pH depois da adição do ácido é primordial na condução da fabricação da ricota. Após atingir o valor de pH, o soro deve ser novamente aquecido até 95°C e, ao atingir essa temperatura, ser resfriado. Por fim, basta deixar a massa resultante descansar por vinte minutos, enformar e refrigerar até o dia seguinte. A ricota é um queijo que apresenta baixo teor de gordura, o que a torna adequada para dietas restritivas. Sua produção constitui uma forma eficiente de evitar o descarte inadequado do soro do leite e ainda reaproveitar o valor nutritivo, principalmente de natureza proteica (albuminas e globulinas), que coagulam por meio do processo de aquecimento e acidificação^{17, 18}.

15 Junio César Jacinto Paula, Antônio Fernandes Carvalho e Mauro Mansur Furtado, “Princípios básicos de fabricação de queijo: do histórico à salga”, *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 64, n. 367/368, pp. 19-25, 2009.

16 Maura Pinheiro Alves et al., “Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos”, *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 69, n. 3, pp. 212-226, 2014.

17 Maria Gabriela Koblitiz (coord.), *Bioquímica de alimentos: teoria e aplicações práticas*, 2. ed., Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2019.

18 Fernando Teixeira Silva, *Recomendações práticas para a produção de ricota*, Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1997, disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/412775>, acesso em: 29 dez. 2022.

Ao produzir ricota a partir do soro do leite, o senhor Queijadinha poderia ampliar a oferta de mercadorias da sua indústria e atingir novos consumidores: aqueles com dietas restritivas em gordura. No entanto, apesar da fabricação da ricota ser um procedimento plausível para a reutilização do soro gerado, ainda restará um volume considerável de soro após o processo, o qual poderá ser utilizado para outros fins. Logo, a opção pela produção de ricota se configura como uma solução paliativa a este estudo de caso, principalmente quando considerada a situação emergencial apresentada por Pedro Ogro, dado que uma quantidade ainda significativa de soro continuaria sendo descartada.

Dentre os conteúdos químicos vinculados a essa solução destaca-se o estudo de macromoléculas, como as proteínas. Com conhecimento a respeito da produção do queijo e da composição do soro gerado, o estudante, ao optar por uma solução envolvendo o seu reaproveitamento para a produção de ricota, lança mão de conceitos relacionados às propriedades das proteínas. Uma vez que o fundamento da fabricação desse novo tipo de queijo consiste na desnaturação de proteínas e sua posterior precipitação pelo calor sob a influência de acidificação, ganha evidência o estudo da composição das proteínas, sua estabilidade frente, principalmente, à temperatura e pH, e sua solubilidade em função do pH, o que se relaciona com as técnicas de separação de proteínas mediante o seu ponto isoelétrico.

7.4.2 PRODUÇÃO DO SUPLEMENTO ALIMENTAR WHEY PROTEIN

Os suplementos alimentares ganharam destaque há algumas décadas devido à dificuldade de algumas pessoas em suprir necessidades de nutrientes por intermédio da alimentação. O *whey protein* é um suplemento alimentar em pó, que consiste em um concentrado de proteínas, utilizando como matéria-prima principal o soro do leite. Em seu processo de fabricação, o soro do leite é coletado e submetido a diversas etapas de filtração, cujo principal objetivo é a separação da gordura e da lactose presentes no soro. Um dos parâmetros de qualidade do produto final é que o mesmo seja *low carb* e *low fat*, isto é, que apresente baixos teores de gorduras e carboidratos, o que justifica os processos de separação, conforme apontam Oliveira *et al.*¹⁹.

Os autores acima mencionados afirmam que um segundo parâmetro que permite qualificar o produto é o seu teor de proteínas após as etapas de filtração as quais é submetido: acima de 88% de proteína, tem-se o chamado *whey protein*

19 Gisley Silva de Oliveira *et al.*, MDLGV – Indústria Ltda: processo produtivo de *whey protein*, trabalho de conclusão de curso, Apucarana, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

isolado (WPI), enquanto que abaixo disso a denominação correta é a de *whey protein* concentrado (WPC). A seguir, constam os principais processos envolvidos em sua produção:

- Micro e/ou ultrafiltração: compostos de baixo peso molecular – como vitaminas, minerais e a lactose – são removidos, o que concentra as proteínas do soro. A diferença entre esses dois tipos de filtração se encontra basicamente no tamanho dos poros da membrana de filtração.
- Cromatografia de troca iônica: uma vez que as proteínas são compostas de aminoácidos que podem implicar em diferentes cargas ao peptídeo, o processo de cromatografia de troca iônica é uma alternativa à micro/ultrafiltração e se baseia na separação das proteínas do soro a partir de sua carga elétrica. Apesar de ser um processo cerca de 80% mais barato que a ultrafiltração, a cromatografia de troca iônica pode desnaturar alguns compostos presentes no soro, como macropeptídeos e imunoglobulinas, devido à variação de pH do meio. Uma grande vantagem em relação aos processos convencionais de filtração é que o concentrado de proteínas pós-cromatografia é obtido com teores de lactose e de gordura bem menores.
- Pasteurização/evaporação/secagem: após a separação e isolamento das proteínas do soro, seja por filtração ou cromatografia, elas são pasteurizadas, de modo a eliminar qualquer microrganismo patogênico que ainda possa estar presente, e secas para a formação de um pó fino. A secagem ocorre em baixas temperaturas para evitar a desnaturação de algumas proteínas e pode ser feita utilizando diferentes processos, tal como a secagem por aspersão/atomização (*spray-drying*). Nesse caso, a obtenção de um pó seco ocorre a partir da secagem rápida de um líquido ou uma suspensão com um gás quente. A vantagem da técnica é que ela pode ser usada sem riscos para produtos termicamente sensíveis, como é o caso das proteínas.

Para a obtenção do WPI, isto é, com níveis de proteína acima de 88%, mais etapas de filtração são necessárias, o que acaba por encarecer o processo valorizando o produto final. Além disso, outro aspecto que encarece o produto é a hidrólise por meio do emprego de enzimas, as quais fragmentam as longas cadeias de aminoácidos em peptídeos menores, o que facilita a sua absorção no estômago. O *whey* hidrolisado tem um gosto amargo, porém, o uso de aditivos que mascaram essa característica, aliado ao elevado valor biológico dos peptídeos resultantes, faz com que este seja o produto mais cobiçado e com maior valor comercial dentre os citados²⁰.

20 Cristine Couto de Almeida *et al.*, “Proteína do soro do leite: composição e suas propriedades funcionais”, *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 16, pp. 1840-1854, 2013.

Embora essa solução seja bastante eficiente para o aproveitamento do soro do leite, alguns fatores devem ser considerados, como o valor agregado dos produtos finais e o custo de implementação do processo. O *whey protein* apresenta um valor agregado bastante superior comparativamente à ricota e um mercado de consumo promissor, ainda em expansão. Além disso, para a implementação do processo de produção desse suplemento, é necessário um maquinário bem mais robusto e caro, como equipamento de centrifugação, filtração etc.

Os conteúdos científicos em pauta nessa resolução incluem técnicas de extração e filtração, cromatografia de troca iônica e também técnicas de secagem para a obtenção do produto final.

7.5 PARA SABER MAIS

7.5.1 LABORATÓRIO PRODUZ ETANOL A PARTIR DE SORO DE LEITE

O texto de divulgação científica²¹ em questão apresenta um projeto desenvolvido pelo Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em que os pesquisadores obtiveram resultados promissores para a obtenção de etanol a partir do soro de leite. Após uma breve descrição sobre o soro, o autor discute os aspectos do referido projeto e destaca o valor que representa essa nova fonte de matéria-prima, amplamente disponível, para a produção de etanol.

7.5.2. ANÁLISE QUALITATIVA DE PROTEÍNAS EM ALIMENTOS POR MEIO DA REAÇÃO DE COMPLEXAÇÃO DO ÍON CÚPRICO

De modo a promover a inserção de atividades práticas no ensino de química, neste texto²² os autores discutem a respeito de uma experiência em sala de aula do ensino médio envolvendo a reação de complexação entre cobre(II) e biureto para a identificação de proteínas e alimentos. Com isso, são tópicos abordados pelos autores a estrutura dessas macromoléculas, bem como suas propriedades.

²¹ “Laboratório produz etanol a partir de soro de leite”, *Pesquisa FAPESP*, n. 199, p. 16, 2012.

²² Vanessa Vivian de Almeida *et al.*, “Análise qualitativa de proteínas em alimentos por meio da reação de complexação do íon cúprico”, *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 1, pp. 34-40, 2013.

ESTUDO DE CASO: O BEBÊ AZUL

FÁBIO APARECIDO DAMASCENO¹

LUCAS XIMENES ARAÚJO²

RAFAEL CAVA MORI³

Aos 18 anos, em um município interiorano, Joyce deu à luz Pedro. A gestação foi determinante para que ela abandonasse temporariamente o projeto de ingressar na educação superior. A jovem, desde criança, sempre se interessou por nutrição e sonhava em cursar a graduação na área. Sem dúvidas, o diploma representava uma possibilidade de ascensão social, ainda mais na zona rural, onde Joyce morava com o marido, Ricardo.

As famílias do casal sempre mantiveram viva uma antiga tradição local, o cultivo de coco, levando vidas simples e longe de tecnologias modernas. Ali, mesmo as atividades cotidianas mantêm certo grau de dificuldade. Por exemplo, não é trivial, nem para Joyce, nem para Ricardo, extrair água do poço localizado aos fundos da casa, próximo à rudimentar fossa sanitária de uso familiar – que, por sinal, jamais poderia ser considerada uma fossa séptica. A bem da verdade, a família nunca levou a sério os protocolos dos especialistas da Monitora, empresa de consultoria ambiental e rural que costuma atender parte da região. A mesma empresa recomenda orientações quanto ao manejo de fertilizantes contendo substâncias como KNO_3 , NaNO_3 e CuSO_4 , empregadas no cultivo do coco por toda a comunidade, incluindo Ricardo. Mas essas orientações especializadas também não são seguidas pelos pequenos produtores.

Até seus primeiros meses, e conforme orientações do pediatra, Pedro recebeu apenas o aleitamento materno. Certo dia, porém, Joyce contou a novidade ao marido:

– Ricardo, o médico disse que já posso começar a dar água para o Pedro.

1 Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

2 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

3 Professor da Universidade Federal do ABC e Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

- Que bom! Mas por enquanto é só um pouco, né?
- Claro! Em pouca quantidade e poucas vezes!

Algumas semanas depois que Pedro começou a consumir água do poço, Joyce fez uma observação que a deixou atônita: a face do garoto apresentava uma coloração azulada. A moça não hesitou: com o menino nos braços, correu para a Santa Casa da cidade.

Após exames que descartaram problemas cardíacos congênitos, o menino permaneceu hospitalizado e, nas primeiras horas de internação, a cor azulada de sua face foi desaparecendo gradativamente.

– Joyce, o Pedro está consumindo ou comendo algo que não seja o leite materno?

– Sim, o pediatra disse que ele já podia beber água – respondeu a jovem ao médico que a atendia.

– E de onde vem essa água? Vocês têm acesso a água encanada?

– Ela vem do poço, porque a gente mora no sítio.

– Muito bem. Primeiramente, você vai comprar um galão de água para beber e cozinhar os alimentos, porque acredito que não só o Pedro possa estar em risco, mas você e seu marido também! Depois, solicite uma análise química da água na Monitora. Quando o laudo ficar pronto, traga para que eu dê uma olhada, está certo?

Já com os resultados, Joyce retorna ao médico que, analisando-os, encontra uma irregularidade: a concentração de nitrato estava muito alta, tanto na água como no sangue da criança, e o clínico já imaginava que a condição de Pedro poderia estar relacionada a esse composto.

Joyce se dá conta de que ela e sua família não poderiam mais consumir a água do poço. O problema é que eles não têm condições de adquirir galões d'água semanalmente.

Você é um químico contratado na empresa Monitora. Diante das informações das análises, e com base em seus conhecimentos, proponha alternativas para Joyce solucionar o problema que enfrenta, justificando qual delas seria a mais adequada.

8.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso trata do contexto de uma pequena propriedade rural em que há o cultivo de coco, utilizando-se como insumo agrícola, majoritariamente, compos-

tos com nitrato. Um dos personagens é o bebê Pedro que, após alguns meses de idade, começou a ingerir água de um poço artesiano e, algum tempo depois, começou a ser acometido por um problema de saúde.

Assim, a narrativa aborda o que é uma realidade imediata para cerca de 15% da população do Brasil: segundo dados do último Censo Demográfico⁴, esse é o percentual de brasileiros que residem em áreas rurais. Em termos absolutos, estamos falando de quase 30 milhões de pessoas.

Trata-se de uma população situada em um contexto com diversas particularidades em relação ao meio urbano. Entre essas características podem ser elencadas: baixa povoação; êxodo; sensibilidade da renda à sazonalidade e às intempéries; preservação de tradições geracionais; proporcionalidade entre poder e posse de terras (e, como consequência, ocorrência de conflitos agrários).

O campo também é marcado pelas dificuldades, vivenciadas por seus residentes, em acessar as tecnologias e serviços da cidade. Especificamente, a efetivação do direito constitucional à educação para os habitantes da zona rural se apresenta como um enorme desafio para os gestores de políticas públicas, e é quase uma impossibilidade para os extratos mais vulneráveis dessa população.

Por isso a luta por esse direito conduziu à organização de um setor que aglutina desde intelectuais até lideranças e bases de movimentos sociais, a chamada educação do campo. No bojo desse setor, reflexões teórico-práticas repercutiram na elaboração de concepções pedagógicas específicas para a realidade rural, como a pedagogia da alternância e a pedagogia da terra⁵, além de uma pedagogia própria do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra⁶. Repercutiram, também, na fixação de dispositivos legais para garantir e regular políticas educacionais direcionadas a esse público heterogêneo – composto por agricultores familiares, extrativistas, pescadores artesanais, ribeirinhos, assentados e acampados da reforma agrária, trabalhadores assalariados rurais, quilombolas, caiçaras, povos da floresta, caboclos e outros, como define o Decreto número 7.352/2010, marco da política brasileira de educação do campo⁷.

Tendo em vista o exposto, o caso proposto tem lugar privilegiado nos cursos de licenciatura em química, que habilitam docentes para atuação na educação básica, tanto nas instituições urbanas, como nas escolas do campo. Assim, o caso

4 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Sinopse do censo demográfico: 2010*, disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9673&t=sobre>, acesso em: 29 dez. 2022.

5 Dermeval Saviani, *A pedagogia no Brasil: história e teoria*, 2.ed., Campinas, Autores Associados, 2012.

6 Roseli Salete Caldart, *Pedagogia do Movimento Sem Terra: escola é mais do que escola*. Petrópolis, Vozes, 2000.

7 Brasil, decreto n. 7.352, de 4 de novembro de 2010, disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=7352&ano=2010&ato=93bQTQ65EMVpWT612>, acesso em: 30 dez. 2022.

poderia auxiliar na sensibilização dos professores em formação quanto às especificidades do meio rural, ao mesmo tempo, demonstrando como o conhecimento químico pode ser um importante instrumento de luta, por parte dos camponeses, por melhores condições de vida.

No bacharelado em química, também há razões para se incorporar o caso às atividades de ensino. Primeiramente, porque a narrativa protagonizada por Joyce e sua família toca em questões atinentes a um campo de estudos cada vez mais imprescindível para a formação dos químicos: a química ambiental. Por exemplo, na Universidade de São Paulo, todos os *campi* que sediam a graduação em química ofertam um rol completo de disciplinas sobre a problemática ambiental – e sempre alinhadas a partir de um programa integral de estudos, na forma de ênfase ou habilitação profissional. Assim, o caso poderia ser abordado em componentes curriculares como química ambiental, química das águas, poluentes químicos e ecotoxicologia e ciclos biogeoquímicos. Considerando essas disciplinas, há claros elos entre seus conteúdos e o aspecto da contaminação aquática, mencionado no caso. Como a narrativa acrescenta o detalhe de que um dos personagens, Ricardo, lida com a fertilização dos coqueirais, abrem-se possibilidades para a aplicação do caso em outros componentes da ênfase ambiental, principalmente aqueles que abordam a nutrição do solo. Recurso solo: propriedades e usos, química dos solos: fundamentos, contaminantes e remediação e química de sistemas terrestres são algumas dessas disciplinas.

O segundo motivo que justifica a abordagem do caso também no bacharelado em química é a óbvia interdependência entre os contextos urbano e rural – dado que o campo fornece, direta e indiretamente, os produtos básicos da alimentação humana nas grandes e pequenas cidades; e que os centros de elaboração do saber, geralmente integrados ao ambiente citadino, frequentemente geram inovações científico-tecnológicas aplicáveis à produção agropecuária. De fato, as próprias Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química estabelecem que os químicos profissionais devam reunir os requisitos para “atuar nos campos de atividades socioeconômicas que envolvam as transformações da matéria”⁸, como são as atividades produtivas do meio rural.

As referidas Diretrizes recomendam ainda que o químico atue nesses campos “interpretando criticamente as etapas, efeitos e resultados”, ao mesmo tempo “aplicando abordagens criativas à solução dos problemas e desenvolvendo novas aplicações e tecnologias”. Também quanto a isso, o caso proposto é pertinente. Afinal, as discussões que ele propicia podem abranger debates mais amplos que são feitos na sociedade civil, remetidos justamente à crítica do modelo hege-

8 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

mônico de exploração dos recursos naturais no campo. Com efeito, tal modelo, conhecido como agronegócio, baseia-se em um conjunto de disposições antagônicas a um projeto de produção agropecuária menos centralizado, mais distributivo e mais ecológico, a agroecologia⁹. Um químico em formação nada tem a perder diante da oportunidade de conhecer, compreender, analisar, argumentar e tomar uma posição quanto a esse conflito – de um lado, latifúndio, monocultura, mecanização, produção intensiva para exportação de *commodities* e recurso a agrotóxicos/biotecnologia; de outro, reforma agrária, policultura, trabalho familiar, produção com foco no mercado interno e respeito aos ciclos e limites da natureza.

Em suma, o caso é adequado à realidade de diversas matrizes curriculares de cursos brasileiros de química. Embora sua própria formulação acene para componentes como química analítica e análise instrumental, ele tende a render frutos também em outras disciplinas, como as elencadas anteriormente. Sua resolução presume que os alunos disponham de um repertório conceitual amplo e relativamente avançado, contemplando o domínio de métodos de análises clássicos e instrumentais, tópicos gerais sobre química ambiental, noções de saneamento básico e conhecimentos sobre fenômenos de sorção e formação de complexos metálicos. No entanto, considerando a base desses conhecimentos em noções mais elementares – propriedades dos elementos, generalidades sobre reações químicas, equilíbrio químico, fenômenos redox, por exemplo –, pode-se vislumbrar a aplicação do caso também no ensino médio. Nesse sentido, o foco da proposta passa a ser a frente classicamente conhecida por química geral e inorgânica, e o caso pode ser adaptado para abordar a importância e as propriedades de sais inorgânicos no contexto da agricultura.

8.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Herreid *et al.*¹⁰ propõem que um caso, para ser considerado bom, deve atender aos seguintes critérios: narrar uma história; estimular o interesse do leitor; ser atual; despertar empatia para com seus personagens; apresentar diálogos; ser relevante; ter utilidade pedagógica; provocar conflito; forçar a tomada de decisão; permitir generalizações; ser curto.

9 Christiane Fernandes dos Santos, “A agroecologia como perspectiva de sustentabilidade na agricultura familiar”, *Ambiente & Sociedade*, vol. 17, n. 2, pp. 33-52, 2014.

10 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

O caso, assim, narra uma história situada na pequena propriedade rural onde vive Joyce, uma jovem de dezoito anos que precisa lidar com os desafios de uma gestação precoce. No arranjo dessa narração, o caso inclui diálogos (entre Joyce e seu marido, Ricardo, mais tarde dando voz também a um médico que a atende) e pode ser considerado curto, demandando poucos minutos para ser lido.

A narrativa, ainda, busca manter o leitor interessado, já que sua questão principal – como Joyce e sua família poderão consumir água de melhor qualidade, considerando a situação de precariedade em que vivem – é construída lenta e progressivamente durante a apresentação do caso. No decorrer desse desenvolvimento do enredo, o caso procura aproximar leitor e personagens. Joyce, para além de ser a protagonista, reúne características que colaboram para esse processo empático. Chama a atenção, por exemplo, que mesmo compulsoriamente afastada dos estudos, nem por isso despreze o conhecimento científico; ou que não meça esforços para cuidar do bem-estar do filho Pedro, apesar de viver em um contexto de muitas privações. Trata-se de atributos com os quais o leitor se identifica ou deseja se identificar.

Como afirmado, o bom caso deve provocar algum tipo de conflito. Na narrativa em questão, ele se dá entre a necessidade de que Joyce e Ricardo consigam garantir a saúde deles e de Pedro, e a situação de precariedade sanitária que os envolve. Sendo insustentável a situação em que vivem – já que a água consumida está contaminada –, a tomada de decisão é improrrogável, exortando o leitor a auxiliar os personagens na busca de uma solução urgente.

O tema do caso é também relevante, tratando do que é, historicamente, um problema cotidiano para grande parte dos brasileiros: o desconhecimento das pessoas sobre contaminação em alimentos. Logo, seu intuito é chamar a atenção sobre a necessidade de controle sobre compostos utilizados na produção alimentar. A proposta procura mostrar como tais compostos – no caso em questão, insumos agroquímicos utilizados de forma desmedida – podem se tornar um perigo silencioso, chegando à mesa de diversas pessoas e causando impactos diretos em sua saúde, podendo acarretar sintomas irreversíveis e até mesmo a morte.

Ao propor que a situação mencionada possa ser contornada com o auxílio de uma ação profissional, o caso revela sua utilidade pedagógica, estimulando estudantes de química a mobilizarem conteúdos dessa disciplina (conforme elencados na seção anterior) para pensar em soluções. Ainda, considerando que tais soluções são respaldadas pelo conhecimento científico, universalmente válido, o caso cumpre mais um critério dentre aqueles listados pelo referido autor: permite generalizações, conduzindo à elaboração de propostas que possam ser aplicadas a outras realidades, para além da ficção protagonizada por Joyce e sua família.

O caso enfatiza a chamada metahemoglobinemia infantil, ou síndrome do bebê azul, caracterizada pela mudança de coloração da pele de recém-nascidos

para um tom azulado, a chamada cianose, devido à diminuição da quantidade de hemoglobina disponível em seu sangue¹¹. Essa condição foi reportada em 1945 pelo residente pediátrico Hunter Comly, a partir da análise de dois casos, relativos a duas bebês diagnosticadas com um tipo de cianose que não poderia ser explicada por eventuais doenças cardíacas congênitas¹². O seu artigo, publicado no *Journal of the American Medical Association*, foi reapresentado pelo mesmo periódico em 1987. Desde então, o mecanismo exato que determina a síndrome do bebê azul não foi completamente esclarecido, sendo debatido até hoje na literatura médica – o que colabora para tornar o caso atual.

Desde a publicação do referido artigo é sabido que essa condição é mais comum em regiões onde se utiliza água de qualidade duvidosa, ou na zona rural, devido ao consumo de águas subterrâneas. A causa mais provável da metahemoglobinemia infantil é a água contaminada com nitrato, íon cujo excesso, em água potável, é um perigo potencial à saúde¹³. O nitrato é um contaminante abundante em corpos d'águas subterrâneas¹⁴, graças à utilização de fertilizantes em solos agricultáveis, sintéticos ou de origem natural, como o estrume de animais. Sem a devida orientação, o emprego desses adubos pode fazer o nitrato lixiviar até lençóis freáticos ou ser levado a corpos d'água. Outras fontes de nitrato são os dejetos humanos¹⁵, quando há fossas sépticas muito próximas a poços artesianos, de onde provém, frequentemente, a água utilizada para consumo em zonas rurais – o que explica a maior ocorrência da síndrome do bebê azul em regiões carentes de investimento em saneamento básico e alijadas de políticas para a coleta de resíduos domésticos.

O processo de contaminação é desenvolvido a partir de recipientes de alimentos que não são devidamente esterilizados ou no próprio aparelho digestório do consumidor da água contendo quantidades excessivas de nitrato. Bactérias, presentes nesses meios, reduzem parte dos íons nitrato para íons nitrito, conforme a equação (1):



-
- 11 Tatiana Souza do Nascimento *et al.*, “Metemoglobinemia: do diagnóstico ao tratamento”, *Revista Brasileira de Anestesiologia*, vol. 58, n. 6, pp. 651-664, 2008.
 - 12 Hunter H. Comly, “Cyanosis in infants caused by nitrates in well water”, *Journal of the American Medical Association*, vol. 129, n. 2, pp. 112-116, 1945.
 - 13 Marcos von Sperling, *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed., Belo Horizonte, Editora UFMG, 1996.
 - 14 Claudia Varnier e Ricardo Hirata, “Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê-São Paulo, Brasil”, *Águas Subterrâneas*, vol. 16, n. 1, pp. 97-104, 2002.
 - 15 C. W. Fetter, Thomas Boving e David Kremer (eds.), *Contaminant hydrogeology*. 3.ed., Long Grove, Waveland Press, 2018.

O nitrito formado, um agente oxidante, interage com a hemoglobina do corpo e a converte em metahemoglobina. Esta, por sua vez, é semelhante à hemoglobina, mas apresenta o grupo heme oxidado de Fe^{2+} a Fe^{3+} , tornando-se incapaz de transportar oxigênio. Conforme aumenta a concentração da metahemoglobina, em relação à hemoglobina não oxidada, a metahemoglobinemia se torna mais grave, manifestando-se, para além da cianose, como sintomas neurológicos e cardiovasculares, podendo levar à morte.

Crianças com menos de três meses são mais vulneráveis à contaminação de nitratos e nitritos, mas a metahemoglobinemia é passível de afetar outras faixas etárias. Considera-se que a concentração de nitrato máxima, em uma amostra de água para consumo, deva ser da ordem de 10 mg.L^{-1} ; valores maiores apresentam riscos à saúde, principalmente de bebês e crianças, mas podem também afetar adultos¹⁶.

8.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

As fontes de inspiração para a elaboração do caso são dois textos de diferentes naturezas: um artigo científico e uma notícia veiculada no portal *G1*, sobre um fato ocorrido no interior do estado de São Paulo.

8.3.1 TEOR DE NITRATO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, CEARÁ: UM ALERTA

Este artigo¹⁷ relata que, no estado do Ceará, após análises químicas, foram identificadas altas concentrações de nitrato em águas de regiões densamente urbanizadas, como a região metropolitana de Fortaleza. A análise de 37 amostras revelou 37,8% como impróprias para consumo.

O que torna o resultado alarmante é o fato desses números indicarem uma possível contaminação de águas subterrâneas, talvez como consequência do uso de fossas irregulares pelo território pesquisado. Os corpos aquíferos subterrâneos

16 Rosângela Aguiar da Silva, Roberto Costa Santos e Luci Ochi Ferreira, “Avaliação da concentração de nitrato em águas subterrâneas de poços das regiões de Assis e Marília, São Paulo”, *Revista Vigilância Sanitária em Debate*, Rio de Janeiro, vol.17, n. 2, pp. 102-106, 2019.

17 Antonia Diana Alves Bezerra *et al.*, “Teor de nitrato em águas subterrâneas da região metropolitana de Fortaleza, Ceará: um alerta”, *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, vol. 38, n. 2, pp. 129-136, 2017.

constituem a principal reserva de água utilizada pelo homem. Sua exploração desmedida, assim como sua poluição, prejudicam a distribuição desses recursos hídricos e afetam a qualidade da água disponível para consumo, com sérias implicações para a saúde pública.

8.3.2 FONTE DE ÁGUA É INTERDITADA POR CONTAMINAÇÃO DE NITRATO EM MARÍLIA, SP.

No município paulista de Marília, um poço foi perfurado há mais de vinte anos para atender a uma cooperativa de cafeicultores. Mais tarde, foi permitido o uso pela comunidade local, suprimindo cerca de quatro mil litros diários de água. No entanto, o acesso ao poço precisou ser interrompido, pois a análise química demonstrou haver uma elevada concentração de nitrato em suas águas. O médico entrevistado nessa reportagem aponta duas possíveis causas para a contaminação: esgoto não tratado, que acessou o corpo d'água subterrâneo, ou solo contaminado, devido ao uso excessivo de fertilizantes¹⁸.

8.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Três soluções são propostas para o caso, relacionadas a diferentes ações: o tratamento doméstico da água consumida por Joyce e sua família, a eliminação de possíveis causas de sua contaminação e o acompanhamento de sua qualidade. As soluções que indicam o tratamento e o acompanhamento podem ser mobilizadas em curto prazo, embora a solução preventiva, cujos resultados emergem de médio a longo prazo, seja inescapável.

Dada a complexidade do problema proposto, deve-se considerar que as soluções constituem apenas diferentes frentes, complementares e simultâneas, para solucioná-lo.

18 “Fonte de água é interditada por contaminação de nitrato em Marília”, *G1 Bauru e Marília*, 17 set. 2012, disponível em: <https://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2012/09/fonte-de-agua-e-interditada-por-contaminacao-de-nitrato-em-marilia.html>, acesso em: 29 dez. 2022.

8.4.1 USO DE FILTROS À BASE DE RESINA IÔNICA OU POR OSMOSE REVERSA

De forma paliativa, e tendo em vista que o principal contaminante da água consumida pelo bebê de Joyce é um íon, pode-se sugerir o uso de um filtro deionizador à base de uma resina aniônica, ou que utilize como método de purificação a osmose reversa. O filtro deionizador é especialmente indicado para lidar com o nitrato, que não pode ser removido por precipitação¹⁹.

Esta pode parecer a solução mais adequada para o caso pois, a princípio, possibilitaria o uso imediato, da água extraída do poço, no consumo humano. No entanto, embora a eficiência na diminuição da concentração da espécie de interesse seja significativa e colabore para tornar a água própria para consumo, o uso desse tipo de tecnologia exige alto investimento na aquisição e, a seguir, em sua manutenção.

Com efeito, quando a resina fica saturada, com todos os seus grupos funcionais ocupados após absorverem e reterem espécies iônicas, ela precisa ser regenerada ou substituída. Não se pode ignorar que o caso narrado se passa em um contexto de carências materiais, retratando uma família que dificilmente dispõe de condições suficientes para comprar o produto e fazer trocas periódicas dos filtros.

8.4.2 MEDIDAS PREVENTIVAS

Esta solução considera dois elementos informados pelo caso. Primeiro, que Joyce e sua família vivem no meio rural e, em segundo lugar, que o personagem Ricardo não segue protocolos estabelecidos para o uso de insumos na produção de coco.

O descumprimento protocolar na produção agrícola, por parte do marido de Joyce, pode ter sido a principal causa do excesso de íons na água extraída do poço, considerando que o coqueiral esteja localizado sobre o aquífero. Estabelecendo-se um procedimento de fertilização que considere a área de cultivo e a concentração do insumo que deva ser distribuída, ou ainda uma estratégia agroecológica, assegurar-se-ia um método racional de adubagem, pautado pela não agressão ao meio ambiente. Seria mitigada, assim, a contaminação dos corpos

19 Andréa Lessa da Fonsêca, *Uso da tecnologia de troca iônica no tratamento de águas contaminadas com nitrato do Aquífero Dunas-Barreiras, Natal/RN-Brasil*, tese de doutorado, Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

d'água da propriedade, possibilitando a disponibilidade do recurso hídrico para consumo humano sem excedentes de nitrato.

Outro fator pode ter contribuído para o aumento da concentração de nitrato nas águas consumidas pelos personagens do caso: a presença de uma fossa irregular, com o lançamento de dejetos humanos de forma descontrolada no meio ambiente. Sabe-se que tais fossas contribuem para a disseminação de uma vasta diversidade de doenças, além de lançarem contaminantes em águas superficiais e subterrâneas²⁰.

A observação de um protocolo de uso de insumos agrícolas e a garantia de construção de fossas sépticas (em substituição às fossas irregulares) são ferramentas poderosas para prevenir a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, promovendo uma atenuação das ações antropogênicas sobre o meio ambiente. Como consequência, essas medidas preventivas devem garantir a qualidade dos recursos hídricos, colaborando para a preservação da saúde da população e de seu pleno gozo de direitos civis e sociais.

Sem dúvidas, esta solução é a mais desafiadora. Seus resultados não são imediatos e requerem um elevado nível de conscientização, nos âmbitos individual e coletivo. Em termos individuais, as medidas propostas necessitam ser acompanhadas de maior responsabilidade, por parte dos assistidos, quanto à conservação do ambiente, além de maior compreensão sobre como os diferentes elementos naturais (principalmente o solo e as águas) se relacionam entre si e com as atividades antropogênicas. Já em termos coletivos, exigem organização, para que a comunidade consiga cobrar a imprescindível assistência do poder público, no que tange à substituição das fossas.

8.4.3 MONITORAMENTO CONSTANTE DOS TEORES DE NITRITO E NITRATO POR CROMATOGRAFIA DE TROCA IÔNICA

Esta solução é proposta para monitorar a qualidade dos recursos hídricos utilizados no contexto do caso. Trata-se de um sistema que permite o acompanhamento da água em função do registro dos resultados das análises. A partir desse registro é possível verificar, por exemplo, se a melhor gestão do uso dos insumos no solo (como proposto na solução anterior) teve resultados, com consequente diminuição de nitrato na água, ou se será necessário traçar um novo plano de ação.

20 Cinthia Cabral da Costa e Joaquim José Martins Guilhoto, “Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora”, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 19, pp. 51-60, 2014.

A limitação desta solução está em sua difícil operacionalidade e, principalmente, em sua incapacidade de resolver, sozinha, o problema enfrentado por Joyce e sua família. Afinal, o objetivo é monitorar uma possível contaminação hídrica, não intervindo em suas causas.

Segue abaixo um roteiro analítico como proposta para o monitoramento ambiental de amostras de água, a fim de estabelecer um histórico de dados da localidade que garanta o controle da concentração das espécies químicas de interesse. O roteiro tem espaço na eventual aplicação do caso em aulas experimentais de química analítica qualitativa, pois envolve a identificação colorimétrica de ânions. Pode ser viável, também, em disciplinas analíticas de caráter instrumental, ao empregar técnicas baseadas em espectroscopia UV-Vis na construção de uma curva de calibração e quantificação de íons.

Primeiramente, recolhem-se amostras de água em garrafas de vidro âmbar, lavadas previamente em HNO_3 e estocadas à temperatura de até 4 °C. Em seguida, as amostras são filtradas, empregando-se um filtro de acetato de celulose com espessura de trama de 0,22 μm . Então, alíquotas de 13 mL serão injetadas no equipamento analítico.

As determinações serão feitas em um sistema cromatográfico de troca-iônica, 930 Compact IC Flex, com detector de condutividade, injetor automático e supressora. As separações serão feitas em uma coluna analítica Metrosep A Supp 7 - 250/4.0 associada a uma pré-coluna.

As amostras serão eluídas em modo isocrático a 1,0 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Como fase móvel será utilizada uma solução de Na_2CO_3 e NaHCO_3 , a, respectivamente, 8 e 1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. A seletividade será avaliada pela comparação de cromatogramas de um branco analítico e de um padrão misto 0,50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dos analitos.

Os limites de detecção e quantificação instrumental (LDI e LQI) serão estimados utilizando o método da relação sinal-ruído. A linearidade instrumental será avaliada utilizando como critério o coeficiente de correlação linear (r) e o exame visual de curvas analíticas. O intervalo de trabalho será determinado por meio da análise dos resíduos, e a sensibilidade será avaliada por meio dos coeficientes angulares das referidas curvas²¹.

Evidentemente, esta solução não pode ser considerada como possível de ser encampada por Joyce e sua família com suas próprias mãos. Uma forma mais realista de incorporar a resolução ao caso seria considerar que, aqui, presume-se o mesmo nível de conscientização coletiva requerido para a solução anterior. Ou seja, os moradores da região onde vivem Joyce, Ricardo e Pedro devem se organizar para, coletivamente, exigir do poder público alguma iniciativa que garanta

21 Isabel Taverniers, Marc de Loose e Erik Van Bockstaele, "Trends in quality in the analytical laboratory. II. Analytical method validation and quality assurance", *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 23, n. 8, pp. 535-552, 2004.

o monitoramento das águas que consomem. Isso poderia ser proporcionado, por exemplo, por meio de um convênio firmado entre o Estado e a empresa de análises químicas mencionada no caso – não à toa, intitulada Monitora.

8.5 PARA SABER MAIS

8.5.1 NITRATO E NITRITO EM ÁGUA MINERAL ENVASADA COMERCIALIZADA NA CIDADE DE SÃO PAULO

A população vem consumindo água mineral em quantidades crescentes. Buscando mensurar a presença de nitrito e de nitrato, pesquisadores analisaram 107 amostras de água mineral comercializadas na capital paulista. Apesar de nenhuma amostra apresentar concentrações de nitrato superiores ao valor máximo permitido (50 mg. L⁻¹ – embora a literatura médica sugira um valor cinco vezes menor, ao menos para o consumo infantil), algumas amostras apresentaram valores superiores aos declarados em seus rótulos. Além disso, cinco amostras apresentaram concentrações de nitrito superiores ao valor máximo permitido (0,02 mg.L⁻¹). Ao final do artigo²², os autores elencam os potenciais perigos desses íons à saúde humana, e sugerem o monitoramento contínuo da presença de nitrato em águas minerais provenientes de regiões densamente urbanizadas.

8.5.2 MACROSCOPE: THE BLUE BABY SYNDROMES

A matéria²³ discute a metahemoglobinemia infantil, a partir do relato pioneiro de Comly em 1945. Até então, a cianose apresentada por bebês era descrita na literatura médica apenas como o sintoma de uma condição cardíaca congênita, a tetralogia de Fallot. Graças a ela, o sangue que volta do corpo ao coração é bombeado novamente, em vez de ser reabastecido com oxigênio pelos pulmões. Entretanto, como exposto ao longo deste capítulo, outra possível explicação para a cianose seria o consumo de alimentos ou bebidas com altas concentrações de nitrato, dada a possibilidade metabólica de sua conversão a nitrito, que oxidaria a hemoglobina e dificultaria o transporte de oxigênio pelo sangue. Essa hipótese acabou sendo amplamente aceita por sua razoabilidade, apesar de não ter sido

22 Thais Valéria Milanez, Arlete de Souza e Paulo Eduardo Masselli Bernardo, “Nitrato e nitrito em água mineral envasada comercializada na cidade de São Paulo”, *Boletim do Instituto Adolfo Lutz*, vol. 25, n. 1, pp. 12-14, 2015.

23 Roger P. Smith, “Macroscopic: the blue baby syndromes”, *American Scientist*, vol. 97, n. 2, pp. 94-96, 2009.

efetivamente comprovada (e também por conta da baixa incidência da síndrome do bebê azul). Afinal, os bebês dos casos descritos por Comly apresentavam também perturbações gastrointestinais, que poderiam estar associadas à presença maior de nitrito em seus aparelhos digestórios. No entanto, foram reportados outros casos de bebês que apresentaram quadro clínico de cianose e que a exposição a quantidades elevadas de nitrato não explicaria satisfatoriamente. A matéria se debruça, então, sobre as controvérsias científicas resultantes desse conjunto de relatos, e serve como texto de aprofundamento sobre os aspectos complexos da síndrome do bebê azul.

ESTUDO DE CASO: ÍNDIO NA TV

FELLIPE MAGIOLI CADAN¹

CHUBRAIDER XAVIER²

GUILHERME BALESTIERO DA SILVA³

Após sentar-se pela primeira vez na confortável poltrona da sala presidencial da indústria Tupi Televisores, Iara Juruna permitiu-se sorrir. Os anos de dedicação como diretora financeira, ao lado de seu pai, o ex-presidente Ubirajara Juruna, alçaram-na como a nova comandante da prestigiada empresa. Ele havia sido o grande idealizador e impulsionador do sucesso da companhia, uma das pioneiras da tela de cristal líquido (LCD) no Brasil, mas Iara (com razão) se considerava parte importante desse crescimento.

Seu sorriso foi interrompido ao tocar do telefone.

– Pois não?

– Senhora Iara, o jornalista está na sala de espera – disse a secretária.

Iara havia esquecido completamente da entrevista. Havia aceitado o convite na última semana, no impulso da notícia de sua promoção. Agora, prestes a autorizar a entrada do jornalista, se sentia despreparada, principalmente quanto às questões operacionais e à base científica relacionada aos seus produtos. Mas, mesmo assim, autorizou a entrada do profissional.

– Bom dia senhora Iara, me chamo Guaraci!

– Bom dia Guaraci, por favor, sente-se. Em que posso ajudá-lo?

– Muito obrigado! Se a senhora me permitir, gostaria de iniciar a entrevista. A senhora poderia me contar como se deu o início da Tupi Televisores?

Iara respondeu ao jornalista, bem como aos questionamentos seguintes. Comentou sobre a história, o estado atual, alguns fatos interessantes da indústria e, por fim, sobre os seus produtos.

1 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

2 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

– Sobre o último lançamento da Tupi, pude ver que a TV se baseia em LCD. A senhora poderia trazer um resumo simplificado da tecnologia?

Apesar de seu pouco preparo, Iara foi capaz de responder a questão.

– É muito interessante! Nossos principais produtos possuem telas em LCD. LCD são *displays* formados por cristais líquidos, que têm sua estrutura molecular alterada quando recebem corrente elétrica. Em seu estado normal esses materiais são transparentes, mas ao receberem uma carga elétrica tornam-se opacos, impedindo a passagem da luz.

– Realmente, muito interessante! Eu, inclusive, havia pesquisado sobre LCD, já que a Tupi é líder de vendas no mercado brasileiro. Imagino que a empresa também seja proeminente no seu desenvolvimento! Então, gostaria de saber, o que a empresa vem fazendo quanto ao índio?

Por um momento Iara ficou sem reação. Não se recordava de nenhuma discussão sobre a população indígena com seus colegas do setor de pesquisas.

– Oi? – foi a única resposta que conseguiu proferir.

– Sim, o elemento índio, de número atômico 49. Observei em minhas pesquisas que ele é um componente chave para a tecnologia LCD. Mas há também informações de que existe uma escassez mundial desse elemento. Como a empresa da senhora pretende enfrentar essa situação?

A segunda pergunta tampouco ajudou Iara a produzir uma resposta convincente. A entrevista, logo na sequência de sua promoção, que não permitiu um tempo de atualização em todas as áreas da empresa, pagou seu preço.

– A empresa conta com uma alternativa viável! Entretanto, se o senhor me permite, gostaria de me atualizar com o nosso grupo de Pesquisa e Desenvolvimento sobre as principais medidas. Por favor, sirva-se de uma xícara de café enquanto envio uma mensagem aos nossos colaboradores – disse Iara humildemente.

Prontamente, Iara acessou o computador em sua mesa e enviou o seguinte e-mail institucional:

[URGENTE] Medidas contra a escassez do elemento índio!



Adicionar marcador



Iara Juruna 14:38

para pessoalpesqdestupitv ▾



Bom dia, caros colaboradores

Necessito urgentemente de um relatório sobre as medidas adotadas pela Tupi Televisores acerca da escassez do elemento índio e, consequentemente, do óxido de estanho e índio. Este relatório deve apresentar as medidas, suas vantagens e características operacionais, de modo que possa responder a uma entrevista! Enviem-me por intermédio do Diretor de P&D!

Obrigada,

Att,

--

Iara Juruna

Presidente da Tupi Televisores

Vocês fazem parte do grupo de Pesquisa e Desenvolvimento da Tupi Televisores. Como solicitado por sua presidente, devem elaborar uma breve descrição da principal medida tomada pela empresa, de maneira a responder o questionamento do jornalista. Além disto, um relatório completo deve também ser providenciado nas próximas semanas, argumentando a favor da medida adotada.

9.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

É fato que os televisores se constituíram, e em grande parte ainda se constituem, como o principal meio de comunicação de massa, fornecendo ao público informação e entretenimento. Surgida na década de 1990, a tecnologia de tela LCD (*liquid crystal display*) representou um salto gigantesco em relação aos tu-

bos de raios catódicos predominantes na época⁴. Como sugere a sigla atribuída à tecnologia, esse tipo de tela é composto por cristais líquidos, os quais são responsáveis por permitir a reprodução das imagens que nos emocionam, alertam, aterrorizam etc.

O termo “cristais líquidos” parece um tanto quanto contraditório, principalmente porque usualmente os cristais são associados ao estado sólido da matéria e não ao líquido. Basicamente, compostos químicos possuem diferentes estruturas cristalinas, contudo, existem substâncias que podem apresentar fases com graus de ordem intermediária entre a fase sólida cristalina e o líquido isotrópico, isto é, sem qualquer tipo de ordenação. A essas fases é atribuída a denominação de mesofase, sendo uma delas os cristais líquidos⁵. Descobertos na década de 1970, os cristais recebem esse nome por apresentarem fluxo semelhante ao dos líquidos, no entanto ainda com certo alinhamento das suas moléculas. Por possuírem ligações moleculares fracas, estes são facilmente afetados por campos elétricos. Logo, quando submetidos a uma corrente elétrica, deixam de ser transparentes e tornam-se opacos, não permitindo a passagem da luz⁶.

O aprofundamento dos conceitos, que associados aos cristais líquidos permitem o funcionamento das telas LCD, conduz ao elemento químico índio (In), o qual é um metal bastante raro, de caráter semicondutor. Semicondutores são materiais, usualmente sólidos cristalinos, que apresentam capacidade de condução de carga intermediária entre um condutor e um isolante. O fenômeno de condução em um material sólido ocorre por intermédio do transporte de elétrons entre bandas eletrônicas parcialmente preenchidas. Por sua vez, esse transporte de elétrons se dá pela excitação física (processos elétricos, fotônicos, térmicos etc.) que promovem os elétrons para uma banda de energia mais elevada: a banda de condução. Para que um material seja considerado um semicondutor, a energia de separação de bandas (*band gap*) entre a banda de valência e a banda de condução é necessariamente abaixo de 4,5 eV. Nos materiais condutores, observa-se uma sobreposição entre essas bandas e, nos materiais isolantes, o *band gap* é superior aos 4,5 eV⁷.

O óxido de índio e estanho (ITO, *Indium Tin Oxide*), citado na narrativa, é um exemplo de semicondutor. O óxido é um material extremamente prospectado na optoeletrônica, pois é, ao mesmo tempo, condutor e incolor, capaz de atuar

4 Regina Maria Vinhais Gutierrez *et al.*, “Complexo eletrônico: displays e nanotecnologia”, *BN-DES Setorial*, n. 23, pp. 27-84, 2006.

5 Ivan Helmuth Bechtold, “Cristais líquidos: um sistema complexo de simples aplicação”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 3, pp. 333-342, 2005.

6 “Como funciona a tela de cristal líquido?”, *Redação Mundo Estranho*, 18 abr. 2011, disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-funciona-a-tela-de-cristal-liquido/>, acesso em: 29 dez. 2022.

7 António Carlos Baptista *et al.*, *Fundamentos de Eletrônica*. Lisboa, Lidel, 2012.

como um vidro metálico na região do infravermelho. O ITO também é muito facilmente depositado na forma de filmes em uma grande variedade de superfícies, principalmente por deposição física de vapor⁸. Esse óxido é amplamente utilizado em uma vasta gama de produtos comerciais, tais como *displays* de placas planas, janelas inteligentes, dispositivos eletrônicos baseados em polímeros, filmes fotovoltaicos e portas de vidro dos *freezers* de supermercados. Mas, de longe, seu emprego principal é como revestimento antirreflexivo em *displays* de cristal líquido, sem o qual o dispositivo é incapaz de ser efetivamente funcional⁹.

Buscando alternativas ao ITO, diversos outros materiais e tecnologias são investigadas¹⁰. Dessa forma, diante do caso, os alunos podem explorar as tecnologias baseadas em semicondutores, avaliar as propriedades de materiais e os desafios tecnológicos envolvidos na elaboração dos mesmos para, então, propor soluções ao problema.

Isto exposto, é evidente o alinhamento das possibilidades de aplicação oriundas do caso em questão com o que é sugerido pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC)¹¹. De acordo com o documento disponibilizado pelo Ministério da Educação, a análise de processos tecnológicos de modo a propor soluções que aperfeiçoem os processos produtivos é uma competência específica a ser trabalhada no campo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias no ensino médio, minimizando os impactos ambientais. Para além dos conteúdos puramente científicos já destacados envolvendo o conceito de semicondutores e cristais líquidos, uma reflexão a respeito da extração de metais e a finitude de recursos naturais, como a escassez do elemento químico índio, que origina o problema narrado no caso, permite ampliar e aprofundar a discussão.

Ainda com relação às potencialidades pedagógicas para o ensino médio, a problemática narrada no caso se torna relevante, portanto, para a abordagem de tópicos como metais, processos de obtenção e o sistema produtivo, os impactos sociais e ambientais decorrentes da extração de matéria-prima, o comportamento de materiais e a estrutura da matéria, transformações químicas envolvidas em processos elétricos e eletrônicos etc.

Quanto ao ensino superior, é clara a aproximação dos conteúdos veiculados no caso com temáticas e conceitos de diferentes subáreas da química, como a

8 Alexandre L. B. Baccaro e Ivano G.R. Gutz, “Fotoeletrocatalise em semicondutores: dos princípios básicos até sua conformação à nanoescala”, *Química Nova*, v. 41, n. 3, pp. 326-339, 2018.

9 Oswaldo Luiz Alves, Celia Machado Ronconi e André Galembeck, “Decomposição de precursores metalorgânicos: uma técnica química de obtenção de filmes finos”, *Química Nova*, v. 25, n. 1, pp. 69-77, 2002.

10 “Towards indium-free TCOs”, *INREP*, disponível em: <http://www.inrep.eu/>, acesso em 26 dez. 2022.

11 Brasil, Ministério da Educação, “Base Nacional Comum Curricular”, disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em: 26 dez. 2022.

química inorgânica e a físico-química. São tópicos passíveis de serem trabalhados em sala de aula: a química e propriedades dos sólidos; propriedades ópticas e elétricas; condutores e semicondutores; química dos metais; estrutura eletrônica dos átomos.

9.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A narrativa apresentada se insere no contexto envolvendo a escassez do elemento químico índio, o qual, na forma de ITO, é um dos principais componentes da tecnologia das telas LCD. Nessa perspectiva, é possível assumir a temática como correlacionada a um problema tecnológico real e atual. De acordo com alguns pesquisadores^{12,13}, elementos químicos como o índio, empregado não somente na tecnologia de televisores com telas LCD, como também na produção de telas *touch screens* (sensíveis ao toque) para celulares e computadores, podem desaparecer até 2050. Esse fato denota a relevância do caso e a sua aproximação ao cotidiano dos leitores/estudantes, que se veem imersos em um mundo tecnológico que só é possível graças às propriedades de diferentes compostos e elementos químicos.

Quanto às características elencadas por Herreid *et al.*¹⁴ que permitem afirmar a qualidade de um caso, ao se considerar a narrativa em questão, constata-se que se trata de um texto relativamente curto e bastante direto. O humor também se faz presente por meio do uso de trocadilhos envolvendo nomes tipicamente indígenas e o elemento químico índio. Assim, ao observamos o título, o início da leitura leva a crer se tratar de indígenas, como a personagem Iara Juruna, que será representada na TV por meio da entrevista concedida ao repórter Guaraci. Posteriormente, o leitor identifica que “Índio na TV” se refere ao elemento químico de mesmo nome presente nas telas de LCD. Ademais, a temática tecnológica amplamente presente no cotidiano dos estudantes, o leve humor que permeia a narrativa, a retratação de personagens carismáticos, como a própria Iara, recém-nomeada presidente da Tupi Televisores, e a existência de diálogos diretos, como entre Iara e Guaraci, e indiretos, como entre Iara e o grupo de Pesquisa e

12 Leila Rosa Cruz *et al.*, “Análise comparativa das propriedades de óxidos transparentes condutores para aplicação em células solares e filmes finos de CdTe”, *Revista Matéria*, v. 22, n. 1, 2017.

13 Maria Eduarda Cury, “Cientistas pedem que você pare de trocar de celular”, *Exame*, 26 set. 2019, disponível em: <https://exame.com/ciencia/cientistas-pedem-que-voce-pare-de-trocar-de-celular/>, acesso em: 29 dez. 2022.

14 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

Desenvolvimento, contribuem para uma maior empatia do leitor com os mesmos e, conseqüentemente, despertam o interesse pelo assunto abordado.

Com relação à relevância do caso e a sua aplicação pedagógica, ao apresentar um conflito – a escassez do elemento químico índio – e solicitar uma tomada de decisão – medidas alternativas para o emprego do ITO – este estudo de caso conduz o leitor a articular conhecimentos de diversas áreas, tais como química inorgânica, físico-química, química de materiais, e também conceitos envolvendo a produção tecnológica e questões ambientais. Problemáticas associadas aos impactos ambientais, viabilidade econômica e a conciliação de conhecimentos químicos básicos com propriedades observadas e previstas por materiais, conferem ao caso um caráter promissor para o emprego de conhecimentos de forma integrada ao longo de diferentes disciplinas de nível médio e superior em química.

9.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

O esgotamento de recursos naturais é um assunto que vem sendo amplamente discutido no mundo globalizado contemporâneo. Por sua vez, o consumo exacerbado contribui ainda mais para isso e, no campo da tecnologia, a situação é ainda mais preocupante. À medida em que descobertas científicas fornecem novos produtos cada vez mais avançados, objetos se tornam rapidamente obsoletos, o que culmina na troca frequente de artefatos, como celulares, para os chamados de última geração. Esse contexto leva a um consumo cada vez maior de tecnologias, o que implica em uma produção amplificada e, conseqüentemente, na extração de recursos naturais e matérias-primas. Nessa perspectiva dois textos constituíram-se em fontes de inspiração para a produção do caso.

9.3.1 AS TELAS TOUCHSCREEN PODEM ESTAR CHEGANDO AO FIM. SAIBA O PORQUÊ

O artigo de divulgação científica¹⁵ em questão aborda a importância e abrangência das telas *touchscreen*, principalmente da tecnologia LCD. No decorrer do texto o autor também menciona as dificuldades de operação com os principais componentes e as previsões de escassez do elemento índio, tema principal deste caso. Por fim, discute as alternativas e consequências da escassez.

15 Renan Hamann, “As telas touchscreen podem estar chegando ao fim. Saiba por quê”, *Tecmundo*, 28 jan. 2011, disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/touchscreen/8091-as-telas-touchscreen-podem-estar-chegando-ao-fim-saiba-por-que.htm>, acesso em: 27 dez. 2022.

9.3.2 IMPLICAÇÕES DA ESCASSEZ DE ÍNDIO PARA O MERCADO: CONSIDERAÇÕES DE TECNOLOGIA E MERCADO PARA MANTER O CRESCIMENTO

Trabalho¹⁶ apresentado na 34ª conferência de especialistas fotovoltaicos e publicado nos anais do próprio evento. No texto os autores discorrem sobre as reservas do elemento químico índio e seu emprego nas tecnologias atuais. A abordagem assume um viés econômico e técnico. Em complemento à fonte anterior, são apresentadas algumas estimativas de mercado, de demanda, de produção, e de utilização do elemento químico índio de segunda geração, isto é, reciclado.

9.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Conforme solicitado pela presidente da Tupi Televisores, Iara Juruna, o estudante, ao se deparar com a problemática envolvendo a escassez do elemento químico índio e, conseqüentemente, do ITO, deve propor medidas possíveis de serem adotadas pela empresa para sobrepor essa problemática. Para além de questões científicas relacionadas às capacidades semicondutoras dos materiais, aspectos econômicos, sociais e ambientais devem ser levados em consideração no momento de tomada de decisão. Nessa perspectiva, duas possíveis soluções são apresentadas, e envolvem a continuidade no uso de ITO, por meio do emprego de índio de segunda geração, e a troca do óxido empregado na tecnologia LCD por outros materiais.

9.4.1 RECICLAGEM DO ELEMENTO QUÍMICO ÍNDIO

O desenvolvimento acelerado da ciência tem implicado na produção constante de novas tecnologias, o que torna os produtos obsoletos cada vez mais rápido. Uma opção à escassez do elemento químico índio diz respeito à sua reciclagem, a qual vem sendo discutida na comunidade científica com certo vigor. Nessa perspectiva, o índio de segunda geração poderia ser obtido da própria tecnologia

¹⁶ Izak Kapilevich e Andy Skumanich, "Indium shortage implications for the PV and LCD market: technology and market considerations for maintaining growth", 2009 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2055-2060, 2009.

LCD descartada, a qual é trocada por produtos de última geração. Atualmente, os principais países que reciclam índio são China, Japão e Coréia, os quais, obviamente, são os principais produtores de materiais revestidos de ITO¹⁷.

Considerando a obtenção de índio de segunda geração por meio da reciclagem de produtos eletroeletrônicos, algumas etapas devem ser seguidas até o alcance do seu processamento final. Para tanto, são consideradas quatro etapas: a coleta do resíduo eletroeletrônico; a triagem do material; a desmontagem; o pré-processamento. Tais etapas já oferecem alguns obstáculos à Tupi Televisores: em primeiro lugar, a obtenção do material descartado pelo consumidor e, em segundo lugar, o custo elevado das operações necessárias.

No que diz respeito à coleta dos materiais e à sua obtenção pela Tupi Televisores, a empresa, ao investir em um programa de reciclagem, deve conduzir o consumidor a descartar os resíduos eletroeletrônicos obsoletos em locais apropriados, que não os aterros sanitários, onde são comumente descartados. Por se tratar de resíduos modernos, muitos dos produtos eletrônicos não possuem uma rota de reciclagem consolidada. A empresa, ao optar pela reciclagem do índio, deve dispor de uma equipe responsável pela coleta e obtenção dos resíduos, sua triagem e desmontagem.

Além disso, uma vez que as telas LCD são compostas de outros materiais para além do ITO, como alguns polímeros e vidro, o aproveitamento dos materiais exige um pré-tratamento específico que implica na necessidade de um maior número de etapas, encarecendo a rota de reciclagem do material desejado. Para esse pré-tratamento, diferentes estudos têm sido desenvolvidos na busca por um melhor processo industrial que permita um rendimento satisfatório de obtenção de índio e ITO. Dentre esses estudos, destaca-se o uso de soluções a base de ácido sulfúrico para a recuperação de índio em telas de cristal líquido, promovendo a lixiviação da amostra¹⁸.

Portanto, ao optar por esta solução, os múltiplos processos empregados na reciclagem e recuperação do elemento químico índio para nova utilização industrial podem ser analisados do ponto de vista químico e ser uma forma muito rica de explorar conhecimentos de química analítica e inorgânica. Temáticas transversais como descarte de componentes eletrônicos e reciclagem também ganham evidência para discussão em ambientes de ensino de química.

17 Hugo Hashimoto, *Estudo da extração de índio a partir de telas de cristal líquido (LCD)*, dissertação de mestrado, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2015.

18 Takeshi Kato *et al.*, "Separation and concentration of indium from a liquid crystal display via homogenous liquid-liquid extraction", *Hydrometallurgy*, n. 137, pp. 148-155, 2013.

9.4.2 SUBSTITUIÇÃO DO ITO POR NOVOS MATERIAIS

Com base nas propriedades dos materiais, em específico da capacidade semicondutora de diferentes óxidos metálicos, outra alternativa viável que pode ser apresentada diz respeito à substituição do material atualmente empregado, e que se encontra em contexto de escassez, por outro que exiba propriedades semelhantes, ou até mesmo melhores. Alguns desses substituintes estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1. Materiais alternativos ao ITO

| Material | Características |
|--|---|
| PEDOT: PSS*/ EMIM:TCB** ¹⁹ | 98% de transparência, maior eficiência de transferência de luz Necessita de atenção quanto à estabilidade mecânica |
| PEDOT:PSS/G/ AgNW ²⁰ | 83% de transparência Eficiência quando dobrado |
| AZO/TiO ₂ /Ag ²¹ | 98% de transparência e condutividade superior ao ITO Facilmente moldável, não flexível |
| Malha de nanotubos metálicos ²² | Performance similar ou superior ao ITO com Cu e Ag Processo mais fácil de ser escalonado |
| Ba _{1-x} Sn _x Nb ₂ O ₆ ²³ | Eficiência comparável ao do ITO Processos de fabricação similar ao do ITO |

*poli(3,4-etilenedioxithiopheno)-poliestirenosulfonato;

**1-etil-3-metilimidazólio tetracianoborato.

Fonte: Elaboração dos autores.

Os dois primeiros materiais descritos no Quadro 1 são produtos poliméricos que, portanto, solucionam o problema de abundância e disponibilidade de matéria-prima. Na sequência estão descritos dois materiais com aplicação melhor estabelecida, os quais se baseiam em óxido de zinco dopado com alumínio e na-

- 19 Ryan J. Murphy *et al.*, “Scattering studies on poly(3,4-ethylenedioxythiophene)–polystyrene-sulfonate in the presence of ionic liquids”, *Macromolecules*, vol. 48, n. 24, pp.8989- 8997, 2015.
- 20 Yasin Altin *et al.*, “Solution-processed transparent conducting electrodes with graphene, silver nanowires and PEDOT: PSS as alternative to ITO”, *Surface and Coatings Technology*, v. 302, pp. 75-81, 2016.
- 21 Rinu Abraham Maniyara *et al.*, “An antireflection transparent conductor with ultralow optical loss (<2 %) and electrical resistance (<6 Ω sq⁻¹)”, *Nature Communications*, n. 7, 2016.
- 22 Tianda He *et al.*, “A tough and high-performance transparent electrode from a scalable and transfer-free method”, *ACS Nano*, v. 8, n. 5, pp. 4782-4789, 2014.
- 23 Ashish Joshi, Vaibhav Shrivastava e Anurag Pritam, “Microwave derived monoclinic Ba_{1-x}Sn_xNb₂O₆ materials as an alternative of ITO”, *Journal of Alloys and Compounds*, v. 828, 2020.

notubos metálicos. Por fim, são apresentados óxidos metálicos não estequiométricos.

Embora a opção mencionada neste subtópico possa representar uma solução aparentemente permanente ao problema elencado na narrativa, a substituição do ITO por novos materiais acarreta algumas limitações, dentre as quais, a necessidade de repensar, por parte da empresa, seus produtos e formas de produção.

9.5 PARA SABER MAIS

9.5.1 ÍNDIO: UMA VISÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DE UM METAL ESTRATÉGICO

Diante da importância econômica do índio, nesta revisão²⁴ são apresentados diferentes aspectos relacionados ao elemento químico, como a sua ocorrência no Brasil e no mundo. Os autores também estabelecem uma relação entre o índio e as diferentes áreas de conhecimento que o utilizam, com destaque para a química e a ciência dos materiais.

9.5.2 O LIXO ELETRÔNICO: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO

Com foco na gestão do lixo eletroeletrônico, neste texto²⁵ é apresentado um relato de experiência envolvendo turmas do ensino fundamental e médio do estado do Rio de Janeiro. A prática relatada compreende o desmonte de equipamentos dessa natureza e a separação dos seus componentes por métodos físicos. De acordo com os autores, a abordagem permitiu uma série de discussões a respeito do descarte adequado de materiais eletroeletrônicos, os seus constituintes e o consumo consciente.

24 Ana Paula M. Monteiro *et al.*, “Índio: uma visão científica e tecnológica de um metal estratégico”, *Química Nova*, v. 42, n. 10, pp. 1162-1171, 2019.

25 Rafael da Silva Oliveira, Elisa da Silva Gomes e Júlio Carlos Afonso, “O lixo eletrônico: uma abordagem para o ensino fundamental e médio”, *Química Nova na Escola*, v. 32, n. 4, pp. 240-248, 2010.

9.5.3 RECICLAGEM DO LIXO DE INFORMÁTICA: UMA OPORTUNIDADE PARA A QUÍMICA

Em uma era tecnológica, o descarte de lixo eletrônico consiste em uma problemática evidente, e o Brasil é o país que mais gera esse tipo de resíduo na América Latina. Diante desse cenário, no texto²⁶ são apresentados diferentes dados a respeito dos materiais constituintes do lixo eletrônico, com destaque para os produtos relacionados à informática.

²⁶ Annelise Engel Gerbase e Camila Reis Oliveira, “Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química”, *Química Nova*, vol. 35, n. 7, pp. 1486-1492, 2012.

ESTUDO DE CASO: **CHAMA O GILMAR!**

GUILHERME DE OLIVEIRA MACHADO¹

RAFAEL LUIZ ROMANO²

RAFAEL CAVA MORI³

Com diversas unidades espalhadas pelo Brasil, a PoliEspumas é responsável por cerca de 30% da produção nacional de espumas de poliuretano. Além de abastecer grande parte do mercado interno, a companhia também exporta uma fração do que produz, adquirindo certo reconhecimento internacional.

Crescendo ano após ano, a empresa tem estufado os bolsos de seu proprietário, o senhor Jeremias. Apesar de sua riqueza, ele conserva a humildade dos tempos em que a PoliEspumas era ainda uma pequena fábrica. Exerce seu trabalho de forma incansável e apaixonada e, embora sua função não seja exatamente simples, raramente ele enfrenta grandes problemas na empresa.

Mas tudo isso parece mudar quando, em tom de desespero, a secretária Bernadete entra apressadamente na sala da diretoria geral e lhe diz:

– Senhor Jeremias, tem um oficial de justiça querendo conversar com o senhor!

– Acalme-se, Bernadete! deixe-o entrar – autoriza o chefe, com certa firmeza.

Mal se apresentando, o homem vai diretamente ao assunto:

– Bom dia. Como deve ser de seu conhecimento, o Brasil não apresenta restrições severas quanto ao uso de retardantes de chama. Mas a realidade é diferente em outros países. A União Europeia, por exemplo, recentemente proibiu a produção e a comercialização de determinados retardantes de chama amplamente utilizados em espumas de poliuretano, por apresentar efeitos carcinogênicos e alto potencial de bioacumulação.

E, após revirar alguns papéis em sua maleta, prossegue o oficial:

1 Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

2 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

3 Professor da Universidade Federal do ABC e Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

– Bem, estes documentos apontam que a PoliEspumas exportou um grande lote de espumas de poliuretano para países da União Europeia. Os laudos indicam também que elas continham retardantes de chama proibidos por lá. A mercadoria será devolvida, uma multa será aplicada e o senhor não poderá realizar exportações até regularizar a situação.

Sem elementos para contra-argumentar, Jeremias simplesmente aceita as condições impostas pelo oficial de justiça, e pensa consigo mesmo:

– A paralisação das exportações trará tanto prejuízo... Quem poderia nos ajudar com isso? O Gilmar é o líder da seção de química... vale a pena convocá-lo!

Então, em questão de minutos, Gilmar atende ao chamado do chefe:

– Chamou, senhor Jeremias? Como posso ser útil?

– Gilmar, tenho uma missão para você. É necessário substituir os retardantes de chama que usamos por outros. O que devemos levar em conta? Como proceder? Quero que você convoque sua equipe para pensar sobre essas questões. Temos que encontrar uma solução para o problema, e rápido! O futuro da empresa está em suas mãos!

Você é um químico da PoliEspumas que integra a equipe de Gilmar e deve auxiliar o senhor Jeremias na escolha de novos retardantes de chama para espumas de poliuretano. Leve em consideração parâmetros como eficiência, toxicidade e impactos ambientais para argumentar a favor do melhor retardante.

10.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso está situado em um contexto muito bem delimitado: uma indústria de espumas de poliuretano que incorpora a seus produtos substâncias retardantes (ou retardadoras) de chama. Assim, em termos de conteúdos de química, há duas frentes possíveis para a abordagem do caso: com o foco nos polímeros ou com o foco nos próprios retardantes.

O foco nos polímeros favorece a inclusão do caso tanto em disciplinas sobre química orgânica, que costumam abordar as reações de polimerização em suas ementas, quanto em matérias específicas sobre polímeros. Com efeito, muitos cursos de bacharelado em química vêm ofertando componentes curriculares especialmente direcionados ao estudo dos diversos materiais poliméricos, cada vez mais presentes em nosso cotidiano. Introdução a polímeros e ciência e tecnologia dos polímeros são alguns títulos dessas disciplinas, ministradas nas mais diver-

sas instituições de educação superior brasileiras. Nelas, sempre há oportunidades para o estudo das técnicas de fabricação de materiais como as espumas, considerando também aditivos como os retardantes de chama.

Abrem-se possibilidades, também, para a incorporação do caso a outras disciplinas que não sejam dos cursos de química. Por exemplo, a engenharia de materiais abrange componentes curriculares como introdução aos materiais poliméricos, estrutura e propriedade dos polímeros, química de polímeros, processamento de polímeros e tecnologia de plásticos. Estruturas e propriedades dos termoplásticos nitrogenados, como o poliuretano, são tópicos estudados nessas disciplinas, propiciando, por sua vez, o estudo da incorporação dos retardantes de chama a tais matrizes poliméricas, seja pela via aditiva, seja pela via reativa – conectando-se perfeitamente ao tema do caso.

O foco nos próprios retardantes de chama abre possibilidades igualmente interessantes para a abordagem do caso. O núcleo comum de disciplinas dos cursos de química – abrangendo componentes como química geral, química inorgânica, química orgânica e físico-química – viabiliza a inclusão de diversos aspectos relacionados aos retardantes, por exemplo, a correlação estrutura-propriedades, suas características térmicas e termoquímicas e seus mecanismos de ação, como a proteção intumescente.

A graduação em química também tem incorporado, nas últimas décadas, componentes curriculares direcionadas ao estudo de questões ambientais, por exemplo, poluentes químicos ou toxicologia ambiental. Nesses contextos, o caso pode ser útil para uma abordagem mais interessante de questões envolvendo os resíduos gerados pela decomposição térmica dos retardantes de chama e do próprio material polimérico, além da ecotoxicologia dessas substâncias.

Aliás, aspectos como bioacumulação, dose letal e dose letal mediana (LD_{50}), toxicidades aguda e crônica, carcinogenicidade, genotoxicidade e neurotoxicidade – tangenciados na própria narrativa, por meio da fala do oficial de justiça – podem levar o caso a ser incorporado também às disciplinas sobre toxicologia. Embora tais componentes curriculares (como introdução à toxicologia e toxicologia clínica) sejam mais típicos das carreiras na grande área de saúde, cursos de química têm ofertado disciplinas sobre esses conteúdos, especialmente na graduação com ênfase em química forense.

Por fim, há uma tendência contemporânea, incorporada pelos cursos de química, em promover estudos formais sobre aspectos relativos à ergonomia e à segurança nos laboratórios científicos e demais locais frequentados pelos químicos profissionais. Disciplinas como segurança em laboratórios de química e segurança química são cada vez mais comuns nas matrizes curriculares dos cursos de bacharelado e mesmo de licenciatura em química. Como cabe a tais componentes curriculares preparar os químicos para a prevenção e o combate a incidentes

com fogo, o estudo de caso aqui proposto pode se tornar uma boa estratégia para aprimorar o conhecimento dos graduandos sobre a combustão de polímeros e a atuação dos retardantes de chama.

Portanto, no núcleo geral de componentes curriculares ou em campos de estudos específicos, a narrativa protagonizada pelo senhor Jeremias tem amplas possibilidades para vir a integrar a formação dos profissionais da química. Até porque o teor do caso e os conteúdos por ele tratados estão em sintonia com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química⁴. Afinal, como apregoa o documento oficial, o caso contribui para a formação de profissionais que saibam “realizar avaliação crítica da aplicação do conhecimento em química tendo em vista o diagnóstico e o equacionamento de questões sociais e ambientais” (p. 6) e “identificar e apresentar soluções criativas para problemas relacionados com a química” (p. 5), além de “conhecer as propriedades físicas e químicas principais dos elementos e compostos, que possibilitem entender e prever o seu comportamento físico-químico, aspectos de reatividade, mecanismos e estabilidade” (p. 6).

O caso também pode ser levado ao ensino médio. Afinal, os polímeros podem e devem constituir um conteúdo desse nível de escolaridade. Consultando-se manuais escolares recentemente recomendados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o componente curricular química, e em uso na educação escolar, nota-se que ao menos dois reservam algum destaque aos materiais de poliuretano^{5,6}. Um terceiro livro⁷, mais breve em sua menção ao polímero, discorre sobre sua propriedade enquanto isolante acústico, lembrando que esse uso “só é indicado quando misturado a um retardante de chamas” (p. 214), evitando novas tragédias como o triste episódio da boate Kiss de Santa Maria no Rio Grande do Sul em 2013.

Recomenda-se que, quando apresentado a esse nível de escolaridade, o caso passe por algumas adaptações, tendo em vista o conhecimento mais restrito dos alunos. O foco deve ser direcionado para a questão ambiental, mas sem que se relevem os aspectos relativos à saúde humana e, obviamente, à efetividade do retardante escolhido para resolver o problema proposto a Gilmar e sua equipe de químicos. Assim, questões sobre o mecanismo de atuação dos retardantes não necessitam ser abordadas. Com o intuito de direcionar as pesquisas, pode ser interessante disponibilizar aos estudantes uma lista com o nome de cinco ou mais

4 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>, acesso em: 26 dez. 2022.

5 Carlos Alberto Mattoso Ciscato *et al.*, *Química: ensino médio*, São Paulo, Moderna, vol. 3, 2016.

6 Vera Lúcia Duarte de Novais e Murilo Tissoni Antunes, *Vivá: química*, Curitiba, Positivo, vol. 3, 2016.

7 Martha Reis Marques da Fonseca, *Química: ensino médio*, 2. ed., São Paulo, Ática, 2016.

retardantes de chama. A partir dela, os estudantes terão de avaliar quais podem ser aplicados no poliuretano, ponderando suas vantagens e desvantagens. Ao final da atividade, espera-se que estes escolham entre duas soluções, argumentando a favor de uma delas.

10.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Para avaliar a qualidade de um caso, deve-se considerar não apenas o conteúdo, mas também a forma como o texto é estruturado. De acordo com Herreid *et al.*⁸, um bom caso deve cumprir critérios como: narrar uma história de forma sucinta; ser atual; ter utilidade pedagógica; forçar uma decisão; permitir generalizações; provocar um conflito; ser relevante para o leitor; despertar o interesse pela questão abordada; incluir diálogos; e instigar a empatia do leitor para com os personagens centrais. Assim, à luz desses critérios, torna-se possível analisar as principais características do caso aqui proposto.

Apresentando-se de forma sucinta e objetiva, o caso narra a história de como o senhor Jeremias, pouco acostumado a dificuldades à frente da empresa PoliEspumas, precisou da ajuda do químico Gilmar para adequar sua produção a novas restrições comerciais. A narrativa dispõe de diálogos que, embora limitados, permitem ao leitor sentir-se participante do enredo e nutrir empatia para com os personagens principais.

Por trazer à tona uma situação investigativa que incita o leitor a lidar com um problema, o caso desperta seu interesse pela questão. Adicionalmente, provoca um conflito, visto que a resolução do problema requer que se pondere entre vários fatores na escolha dos retardantes de chama: compatibilidade com o polímero, efetividade, toxicidade e impactos ambientais – e até outras variáveis, como viabilidade econômica da alternativa e sua adequação à escala de produção almejada pelo senhor Jeremias. Consequentemente, o leitor é forçado a tomar uma decisão.

Como visto anteriormente, o caso apresenta utilidade pedagógica, pois cria oportunidades para o estudo de diversos conteúdos, como propriedades físico-químicas dos retardantes de chama e seus mecanismos de atuação, além de discussões sobre resíduos, poluentes, toxicologia humana e ambiental e segurança química, temas atuais e cada vez mais relevantes. Por outro lado, considerando a questão da aplicabilidade e da adequação dos retardantes às matrizes poliméri-

8 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n.1, pp. 60-65, 2016.

cas, o caso convida ao conhecimento de aspectos referentes aos próprios polímeros sintéticos, um conjunto de materiais que marcou indelevelmente o desenvolvimento histórico da química na virada para o século XX⁹.

Desde a produção do primeiro polímero sintético, em 1912, a comunidade científica tem se dedicado intensamente não só à síntese de novos polímeros, mas também à elucidação dos mecanismos das diversas reações de polimerização, visando melhor controlá-las. Além disso, grandes esforços vêm sendo direcionados para o contínuo desenvolvimento de processos que permitam a produção de materiais poliméricos em escala industrial¹⁰.

Acompanhando esses avanços na ciência e no desenvolvimento tecnológico de polímeros, o consumo de materiais poliméricos tem crescido substancialmente nas últimas décadas¹¹. A utilização desses compostos nos mais variados setores (eletrônicos, móveis, embalagens, automóveis, construção civil etc.) trouxe uma série de vantagens, dentre as quais é possível citar o menor custo de produção, a baixa temperatura de processamento e o peso reduzido apresentado pelo produto final.

Frente a essa realidade, emerge a questão da segurança: os polímeros sintéticos, em sua maioria, são inflamáveis. Dessa forma, torna-se imprescindível encontrar maneiras de impedir a propagação do fogo nesses materiais em caso de incêndio. Respondendo a essa necessidade, surgem os retardantes de chama (em geral, conhecidos como FR, do inglês *flame retardants*), compostos que quando aplicados a um dado material, aumentam sua resistência ao fogo¹².

Atualmente, os retardantes de chama são divididos em quatro grupos principais, quanto a sua composição química: inorgânicos, orgânicos halogenados, organofosforados e aqueles à base de nitrogênio. Independentemente da divisão a que pertença, todo retardante atua conforme um único princípio: impedir a propagação do fogo interrompendo uma das quatro etapas do processo de combustão, que são pré-aquecimento, volatilização/decomposição, combustão propriamente dita e propagação¹³.

Em 2015, o consumo mundial de retardantes de chama atingiu 2,49 milhões de toneladas, totalizando uma movimentação de 6,29 bilhões de dólares – esti-

9 Bernadette Bensaude-Vincent e Isabelle Stengers, *História da química*, trad. Raquel Gouveia, Lisboa, Instituto Piaget, 1996.

10 Sebastião V. Canevarolo Jr., *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*, 2. ed., São Paulo, Artliber, 2006.

11 Michelle C. Pieroni, Juliana Leonel e Gilberto Fillmann, “Retardantes de chama bromados: uma revisão”, *Química Nova*, vol. 40, n. 3, pp. 317-326, 2017.

12 Mehran Alaei *et al.*, “An overview of commercially used brominated flame retardants, their application, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release”, *Environment International*, vol. 29, n. 6, pp. 683-689, 2003.

13 Priscila Alves Martins, Ticiane Sanches Valera, e Jorge Alberto Soares Tenório, “Estudo de sistemas retardantes de chama sem bromo para ABS”, *Polímeros*, vol. 24, n. 5, pp. 572-578, 2014.

ma-se que o crescimento do mercado, nos próximos anos, faça esse valor dobrar até 2025. Atualmente, os retardantes não-halogenados têm dominado o mercado, atingindo 57,7% do volume total produzido em 2015, excedendo 1,4 milhões de toneladas¹⁴.

Embora sejam de extrema importância para a prevenção de incêndios, os retardantes de chama têm sido apontados como tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente^{15,16}. Retardantes de chama bromados, quando submetidos a temperaturas elevadas, podem se decompor em dioxinas e furanos bromados, compostos carcinogênicos¹⁷. Além disso, estudos apontam que determinados retardantes são persistentes no ambiente e sofrem bioacumulação, podendo eles mesmos provocar câncer e deficiências neurológicas¹⁸.

Em resumo, frente ao grande consumo de retardantes de chama na atualidade, além dos impactos decorrentes de seu uso (sejam ambientais ou sobre a saúde humana), evidencia-se a pertinência do tema em ser abordado em um estudo de caso. Na verdade, os retardantes são ainda mais interessantes do que a narrativa proposta dá a entender, resumindo sua aplicação aos materiais poliméricos. Isso porque a ciência vem explorando seu uso também na proteção de estruturas de madeira. De fato, considerando que os plásticos derivam do petróleo, a procura de materiais renováveis que possam substituir os polímeros sintéticos vem gerando desenvolvimentos promissores. Por exemplo, um grupo de pesquisa da Universidade de Maryland conseguiu obter uma madeira super dura que, além de rivalizar com o aço e outras ligas metálicas em termos de propriedades mecânicas, mostrou-se também resistente a chamas – dispensando, portanto, o uso de retardantes nocivos ao ambiente¹⁹.

-
- 14 “The flame retardants market”, *Flameretardants-online*, disponível em: <https://www.flameretardants-online.com/flame-retardants/market>, acesso em 30 dez. 2022.
 - 15 Milou M. L. Dingemans, Martin van den Berg e Remco H. S. Westerink, “Neurotoxicity of brominated flame retardants: (in)direct effects of parent and hydroxylated polybrominated diphenyl ethers on the (developing) nervous system”, *Environmental Health Perspectives*, vol. 119, n. 7, pp. 900-907, 2011.
 - 16 Jiawen Yang *et al.*, “A review of a class of emerging contaminants: the classification, distribution, intensity of consumption, synthesis routes, environmental effects and expectation of pollution abatement to organophosphate flame retardants (OPFRs)”, *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 20, pp. 1-38, 2019.
 - 17 Mengmei Zhang, Alfons Buekens e Xiaodong Li, “Brominated flame retardants and the formation of dioxins and furans in fires and combustion”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 304, pp. 26-39, 2016.
 - 18 M. V Silva *et al.*, “Retardantes de chama bromados: éteres difenílicos polibromados (PBDEs)”, *Acta Farmacêutica Portuguesa*, vol. 3, n. 1, pp. 67-78, 2014.
 - 19 Wentao Gan *et al.*, “Dense, Self-Formed Char Layer Enables a Fire-Retardant Wood Structural Material”, *Advanced Functional Materials*, vol. 29, n. 14, 2019.

10.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

Em julho de 2019, a pós-graduanda Vanessa F. Labriola apresentou, nas dependências do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, um seminário sobre os retardantes de chama. Essa apresentação sensibilizou os dois primeiros autores deste caso, que se conscientizaram da importância dos retardantes de chama nos dias atuais, considerando sua vasta aplicabilidade e os impactos ambientais decorrentes de seu uso.

Estudando o assunto com maior profundidade, constatou-se que diversos artigos científicos abordavam questões sobre a toxicidade dos retardantes de chama e seus efeitos sobre o meio ambiente e a saúde humana. Portanto, ficou claro que o tema teria potencial para disparar discussões por parte de estudantes de química em sala de aula, com argumentos fundamentados em diversos campos de estudos.

Embora o enredo do caso seja totalmente fictício, seu conteúdo faz alusão a alguns fatos noticiados na mídia estrangeira, como as duas matérias mencionadas a seguir.

10.3.1 FLAME RETARDANTS: WHAT TO KNOW ABOUT CHEMICALS IN FURNITURE AND CABLES

A matéria do jornal *The Guardian*²⁰ explica que os retardantes de chama, bastante presentes em diversos itens domésticos desde os anos de 1970 (incluindo carpetes, móveis e eletrônicos), estão se tornando objetos de queixa e denúncia, nos Estados Unidos, por parte das vigilâncias ambiental e toxicológica. Os argumentos das agências reguladoras, que vêm restringindo o uso dessas substâncias, fundamentam-se em achados científicos que atestam a persistência, a bioacumulação e a toxicidade de uma ampla classe de retardantes.

20 Lauren Zanolli, “Flame retardants: what to know about chemicals in furniture and cables”, *The Guardian*, 24 maio 2019, disponível em: <https://www.theguardian.com/us-news/2019/may/24/flame-retardants-everyday-products-toxics-guide>, acesso em: 30 dez. 2022.

10.3.2 INDUSTRY GROUP CALLS FOR EUROPEAN COMMISSION TO DROP BAN ON HALOGENATED FLAME RETARDANTS IN ELECTRONICS

A matéria em questão, discorre sobre como a União Europeia tem imposto severas restrições ao emprego de retardantes de chama, especialmente os que pertencem ao grupo dos orgânicos halogenados. Por sua vez, representantes da indústria do bromo e de seus derivados, afetados pelas restrições, consideram as medidas injustas. Além dos argumentos ambientais e toxicológicos, já tradicionalmente conhecidos, as autoridades consideram também que a presença de retardantes em dispositivos eletrônicos (como monitores de televisões e computadores) dificulta a reciclagem desses itens²¹.

10.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Recomenda-se que as soluções evitem sugerir retardantes halogenados. No caso, a empresa PoliEspumas precisa encontrar uma alternativa ao retardante usado, e presume-se que ele próprio pertença a essa classe de retardantes de chama, que não oferece vantagens do ponto de vista ambiental.

As soluções aqui indicadas, o polifosfato de amônio e a melamina, são retardantes de chama pertencentes a outras classes. Embora apresentem mecanismos de atuação distintos, ambos são efetivos e amplamente utilizados em espumas de poliuretano. Porém, diferem no que diz respeito à toxicidade.

Apesar de ser persistente no ambiente, o polifosfato de amônio apresenta baixos níveis de carcinogenicidade, de genotoxicidade e de neurotoxicidade. Já a melamina possui níveis médios de carcinogenicidade e de genotoxicidade, e níveis elevados de toxicidade reprodutiva.

21 Cheryl Hogue, "Industry group calls for European Commission to drop ban on halogenated flame retardants in electronics", *Chemical & Engineering News*, 23 dez. 2019, disponível em: <https://cen.acs.org/business/consumer-products/Industry-group-calls-European-Commission/97/web/2019/12>, acesso em: 30 dez. 2022.

10.4.1 POLIFOSFATO DE AMÔNIO

O polifosfato de amônio (APP) é um retardante de chama de alta eficiência, amplamente empregado como aditivo na produção de diversos polímeros, como o poliuretano²². Sendo classificado como um sal inorgânico polimérico e tendo fórmula química $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$, o APP possui baixa solubilidade em água e elevada estabilidade térmica, conforme indica a Agência de Proteção Ambiental Norte-americana²³.

A eficiência do APP como retardante de chama está intimamente relacionada ao fenômeno de intumescência. Isso significa que o retardante acelera a decomposição térmica do poliuretano, de modo que a superfície do material polimérico fique recoberta por resíduos da combustão em um curto espaço de tempo. Tais resíduos formam uma barreira termicamente estável, impedindo que as chamas e o oxigênio se aproximem da superfície do polímero, extinguindo ou retardando a propagação do fogo²⁴.

Por se tratar de um aditivo (ou seja, que não é incorporado à estrutura do polímero), o APP pode ser lixiviado com maior facilidade. Além disso, o composto é altamente persistente no meio ambiente, pois sua decomposição é lenta. Por outro lado, o APP possui um baixo potencial de bioacumulação e as toxicidades crônica e aguda no meio aquático são baixas. Adicionalmente, esse retardante de chama apresenta baixos níveis de carcinogenicidade, de genotoxicidade e de neurotoxicidade, de acordo com a agência de proteção ambiental mencionada anteriormente.

Na literatura podem ser encontrados valores de LD_{50} (dose necessária de uma substância para matar 50% de uma população de indivíduos) para o APP em ratos²⁵. Para administração oral, encontram-se valores de LD_{50} superiores a 2.000 mg.kg^{-1} . Para contato dérmico, os valores de LD_{50} também são superiores a 2.000 mg.kg^{-1} , embora algumas fontes apontem valores ainda maiores, superiores a 5.000 mg.kg^{-1} . Assim, a toxicidade aguda em mamíferos é considerada baixa.

22 Marcello Rabello e Marco-Aurelio de Paoli, *Aditivação de termoplásticos*, São Paulo, Editora Artliber, 2013.

23 United States Environmental Protection Agency, “Flame retardants used in flexible polyurethane foam: an alternatives assessment update”, disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/ffr_final.pdf, acesso em: 27 dez. 2022.

24 Sophie Duquesne *et al.*, “Mechanism of fire retardancy of polyurethanes using ammonium polyphosphate”, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 82, n. 13, pp. 3262-3274, 2001.

25 M.L. Weiner *et al.*, “Toxicological review of inorganic phosphates”, *Food Chemistry Toxicology*, vol. 39, n. 8, pp. 759-786, 2001.

10.4.2 MELAMINA

Pertencente à classe dos retardantes de chama à base de nitrogênio, a melamina tem fórmula química $C_3H_6N_6$ e é amplamente empregada como aditivo na produção de diversos polímeros, incluindo o poliuretano²⁶. Apresentando-se como um sólido cristalino com solubilidade em água igual a $3,48 \text{ g.L}^{-1}$, a melamina sublima e se decompõe acima de 280°C ²⁷.

A melamina é considerada bastante eficiente como retardante de chama em polímeros como o poliuretano. Seu mecanismo de ação pode ser descrito da seguinte maneira: durante o processo de combustão, a substância se decompõe em gases não-inflamáveis, que ocupam parte do espaço dos gases combustíveis formados durante a queima do polímero. Adicionalmente, a melamina passa por um processo de condensação em temperaturas elevadas, formando espécies como o melam, o melem e o melon. Esses subprodutos são termicamente mais estáveis que a melamina e acabam constituindo uma barreira física, que impede as chamas e o oxigênio de se aproximarem da superfície do polímero, provocando a extinção ou a retardação do fogo²⁸.

De mesma forma que o APP, a melamina é um aditivo, e pode ser lixiviada com maior facilidade. Porém, possui um baixo potencial de bioacumulação. Além disso, as toxicidades crônica e aguda no meio aquático são baixas. Por outro lado, a melamina é persistente no ambiente, apresenta níveis médios de carcinogenicidade, de genotoxicidade e de toxicidade no desenvolvimento, e níveis elevados de toxicidade reprodutiva. Os valores de LD_{50} para a melamina em ratos, considerando administração oral, são de pelo menos 3.161 mg.kg^{-1} e de 3.828 mg.kg^{-1} para fêmeas e machos, respectivamente²⁹.

26 D. K. Chattopadhyay e Dean C. Webster, "Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes", *Progress in Polymer Science*, vol. 34, n. 10, pp. 1068-1133, 2009.

27 "Melamina: ficha de informação de segurança de produto químico", *Multichemie*, 27 out. 2011, disponível em: <https://www.multichemie.com.br/pdfs/melamina.pdf>, acesso em: 29 dez. 2022.

28 Priscila Alves Martins, *Uso de aditivos não tóxicos como retardants de chama am ABS*, dissertação de mestrado, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2013.

29 Carl G. Skinner, Jerry D. Thomas e John D. Osterloh, "Melamine Toxicity", *Journal of Medical Toxicology*, vol. 6, n. 1, pp. 50-55, 2010.

10.5 PARA SABER MAIS

10.5.1 ORGANOPHOSPHATE ESTER FLAME RETARDANTS: ARE THEY A REGRETTABLE SUBSTITUTION FOR POLYBROMINATED DIPHENYL ETHERS?

É comum que governos, devidamente assistidos por agências reguladoras, imponham restrições ou proibições ao contato da população com substâncias ou conjuntos de substâncias, uma vez que o conhecimento científico acumule evidências de seus efeitos maléficos para a saúde e/ou para o ambiente. Esse foi o caso dos retardantes de chama bromados que, por conta dessas restrições em diversos países, vêm perdendo espaço no mercado para substâncias de outras classes, principalmente os organofosforados. Mas será que esses substituintes são adequados? E se a comunidade científica demonstrar que eles também podem ser tóxicos ao ambiente e às pessoas? Afinal, será que retardantes de chama são mesmo imprescindíveis? O artigo³⁰ problematiza essas e outras questões.

10.5.2 BIOINSPIRED CATECHOLIC FLAME RETARDANT NANOCOATING FOR FLEXIBLE POLYURETHANE FOAMS

A busca por novos retardantes de chama, que sejam compatíveis com as matrizes poliméricas, eficientes e sem efeitos tóxicos, tem conduzido a estudos promissores. O artigo³¹ descreve e analisa a atuação de um novo retardante bioinspirado, baseado na dopamina, um neurotransmissor. A oxidação e subsequente polimerização dessa molécula gera a polidopamina, que se mostrou um retardante com enorme potencial para aplicação em espumas de poliuretano.

30 Arlene Blum *et al.*, “Organophosphate ester flame retardants: are they a regrettable substitution for polybrominated diphenyl ethers?”, *Environmental Science & Technology Letters*, vol. 6, n. 11, pp. 638-649, 2019.

31 Joon Hee Cho *et al.*, “Bioinspired catecholic flame retardant nanocoating for flexible polyurethane foams”, *Chemistry of Materials*, vol. 27, n. 19, pp. 6784-6790, 2015.

