ESTUDOS DE CASO NO

Ensino de Ciências da Natureza 1

Química em Foco

ORGANIZADORES:

- Salete Linhares Queiroz
- Caio Moralez de Figueiredo

Diagrama ACADÊMICO

ESTUDOS DE CASO NO

Ensino de Ciências da Natureza 1

Química em Foco

Diagrama
ACADÊMICO

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Ricardo de Souza
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Profa. Dra. Denise de Freitas
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Prof. Dr. Gabriel de Santis Feltran
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Isabel Georgina Patronis Dominguez
Especialista em Educação Ambiental pelo CRHEA/USP

Prof. Dr. Jacob Carlos Lima
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Prof. Dr. Jaime Giolo
Universidade Federal da Fronteira Sul

Dra. Semíramis Biasoli
Fundo Brasileiro de Educação Ambiental (FunBEA)

Prof. Dr. Valdemar Sguissardi
Professor Titular da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

ESTUDOS DE CASO NO

Ensino de Ciências da Natureza 1

Química em Foco

ORGANIZADORES:

- Salete Linhares Queiroz
- Caio Moralez de Figueiredo

Diagrama
ACADÊMICO

São Carlos
2025

© Dos autores

Autoras e autores

Adriana Gruli de Melo
Arthur Moraes Franco da Rocha
Caio Moralez de Figueiredo
Cyntia Vasconcelos de Almeida
Daniel Yanke Brasilino
Eduardo Orlando Bartaquim
Evelin Ribeiro Cardoso
Felipe Santana Pena
Giovane Santos dos Reis
Gustavo Vasconcelos Gomes
Helaíny Wanyessy Kenya Rodrigues Silva Chagas
Iuri Neves Soares
Kleyton Junior Gomes de Morais
Letícia Tagliavini de Assis
Lucas Freitas Feitosa
Matheus Gotha
Natália Wolf de Faria
Pabllo Abreu Alves
Pedro Augusto Sponchiado
Priscila Martini de Souza
Rafael Cava Mori
Renata Almeida Chagas
Ricardo Matos
Salete Linhares Queiroz
Thiago Wedson Hilario
Winnie Evelyn Valeria Perez Vite

Organizadores

Salete Linhares Queiroz
Caio Moralez de Figueiredo

Projeto gráfico e Diagramação

Diagrama Editorial

Capa

Eldes de Paula Oliveira

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

E82 Estudos de caso no ensino de ciências da natureza 1 [recurso eletrônico]: Química em foco / organizado por Salete Linhares Queiroz, Caio Moralez de Figueiredo. - São Carlos : Diagrama Acadêmico, 2025.
139 p. ; PDF ; 1,6 MB.

Vários autores.
Inclui índice e bibliografia.
ISBN: 978-65-995167-7-1 (Ebook)

1. Química. 2. Educação. 3. Formação de professores. I. Queiroz, Salete Linhares. II. Figueiredo, Caio Moralez de. III. Título.

2025-4478 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

Diagrama ACADÊMICO

Rua XV de Novembro, 2190, sala 8
Telefone/WhatsApp: (16) 99614-8949
CEP 13560-240 - São Carlos/SP
www.diagramaeditorial.com.br

PREFÁCIO

CARLOS ALBERTO DA SILVA JÚNIOR
GREEN MAKER LAB - GRUPO DE PESQUISA E INOVAÇÃO EM QUÍMICA VERDE
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

Quando recebi o convite para prefaciar esta obra, minha reação foi de surpresa - daquelas boas, que nos pegam desprevenidos e nos fazem sorrir. Voltei no tempo, quase dez anos atrás, para uma cena muito simples, mas decisiva: eu, estudante de graduação em Química, folheando pela primeira vez o livro "Estudos de Caso no Ensino de Química"[1]. Naquele momento, eu ainda não sabia, mas estava conhecendo uma forma de ensinar (e aprender) que me acompanharia por toda a vida acadêmica: o estudo de caso.

Agora, tantos anos depois, estou aqui - não mais como leitor iniciante, mas como alguém que teve o privilégio de trilhar parte desse caminho. Prefaciar um novo livro da professora Salete Linhares Queiroz, a qual é pioneira no assunto, não é apenas uma honra profissional. É também uma confirmação de que aquela fagulha que acendeu lá atrás continua viva. Mais do que isso: é a certeza de que o método segue relevante, aplicável e necessário em tempos em que a educação precisa urgentemente se reconectar com a realidade dos estudantes e com os desafios do mundo.

Este livro não surge do nada. Ele é fruto de uma trajetória comprometida e engajada com o Ensino de Química. A professora Salete Linhares Queiroz não apenas escreve sobre estudos de caso - ela vive esse método de ensino. Suas obras não têm apenas conteúdo; elas têm intenção, têm prática, têm política. Lembro bem do dia em que entrei em contato com ela pela primeira vez, já no doutorado, em plena pandemia, em um daqueles períodos marcados por desafios e distanciamento social. A resposta foi calorosa e veio acompanhada de um generoso presente enviado pelos Correios: dois livros, a saber "Estudos de Caso no Ensino de Ciências Naturais"[2] e "Estudos de Caso no Ensino de Ciências Naturais e na Educação Ambiental"[3]. Um gesto laudável, que diz muito sobre quem ela é e o que representa.

---

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

2 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.

3 Salete Linhares Queiroz e Flávia Gabriele Sacchi, *Estudos de caso no ensino de ciências naturais e na educação ambiental*, São Carlos, Diagrama Editorial, 2020.

Em 2023, tive a chance de conhecê-la pessoalmente em Fortaleza, Ceará, durante o XX Simpósio Brasileiro de Educação Química. Confesso: o entusiasmo foi o mesmo daquele estudante que, anos antes, descobriu uma nova maneira de aprender. Só que, dessa vez, com mais clareza sobre o quanto é valioso "andar com os sábios" - como diz o provérbio -, para também se tornar um. Naquele mesmo ano, ingressei como colaborador no Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do Instituto de Química de São Carlos (GPEQSC), da Universidade de São Paulo, que é liderado pela supramencionada pesquisadora.

Quis começar este prefácio compartilhando esses momentos porque, se você ainda não conhece o método de estudo de caso, antes de tudo precisa encontrar pessoas apaixonadas por ele. É assim que a aprendizagem acontece de verdade: vendo o entusiasmo de quem vive o método na prática, fica mais fácil entender quando e como usá-lo. Não é à toa que, além da professora Salete Linhares Queiroz, esta obra conta com a colaboração do pesquisador Caio Moralez de Figueiredo, e que seus capítulos foram escritos por pós-graduandos e professores - até da Educação Básica - que simplesmente experienciaram esse jeito de ensinar. Este livro é sobre isso: sobre como você e eu podemos mergulhar no estudo de caso e transformar a forma de ensinar e aprender no nosso dia a dia.

Mas, afinal, o que é o método de estudo de caso? Simplificando, trata-se de uma variação da Aprendizagem Baseada em Problemas[4]. Os casos investigativos são narrativas que retratam situações vivenciadas por pessoas e que demandam a mobilização de conhecimentos de natureza científica ou sociocientífica para o alcance de suas possíveis soluções[5]. Para Herreid *et al.*[6], um "bom caso" deve seguir alguns critérios: contar uma história envolvente, despertar curiosidade, ser atual, provocar um conflito, ser relevante para quem o lê, gerar empatia com os personagens centrais, ser objetivo, desafiar o leitor a tomar uma decisão e, claro, ter aplicação pedagógica. Cada um dos 11 casos investigativos deste livro incorpora esses elementos, oferecendo mais do que uma simples narrativa: uma estrutura organizada que contempla tópicos como: (1) Apontamentos Didáticos; (2) Características do Caso e Contextualização do Tema; (3) Fonte(s) de Inspiração na Produção do Caso; (4) Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta; e (5) Para Saber Mais. Essa organização não só facilita a compreensão, mas também ajuda o leitor a imaginar como usar cada caso em sala de aula. E o

4 Clyde Freeman Herreid, *Start with a story: the case study method of teaching college*, Arlington, NSTA Press, 2007.

5 Salete Linhares Queiroz e Carolina Sotério, *Estudos de caso: abordagem para o ensino de química*, São Carlos, Diagrama Editorial, 2023.

6 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.

melhor: cada narrativa é tão interessante que desperta uma vontade genuína de ir além, de pesquisar, questionar e aprender mais.

Em "Grama sintética, o novo verde dos estádios", o foco está na transformação dos estádios de futebol - especialmente na troca da grama natural pela sintética. Esse é um tema atual e urgente, que envolve não só as propriedades químicas do material, mas também desafios financeiros e ambientais que impactam diretamente os projetos esportivos. Vale destacar que, de acordo com a Confederação Brasileira de Futebol, até dezembro de 2024, o Brasil contava com 790 estádios[7], revelando a imensa estrutura dedicada ao futebol, um esporte que continua a ser uma verdadeira paixão nacional.

No estudo de caso intitulado "Inflando o perigo", discute-se a busca por substâncias capazes de substituir o nitrato de amônio como propelente nos deflagradores de airbags. A proposta estimula a análise crítica, ao mesmo tempo em que promove a aplicação de conceitos químicos. Ao longo do capítulo, é interessante observar os acontecimentos reais citados pelos autores, como o da empresa Takata, responsável por um dos maiores recalls da história da indústria automobilística. Seus airbags apresentaram falhas que, ao serem acionados, podiam explodir violentamente, projetando fragmentos metálicos em alta velocidade, com consequências graves, inclusive fatais. Na verdade, preciso destacar que esse tipo de abordagem sistêmica, pautada em dados reais e problemáticas contemporâneas, está presente ao longo de toda a obra, conferindo-lhe não apenas valor didático, mas também caráter referencial. Trata-se de um material que transcende a função de recurso pedagógico, assumindo o papel de uma verdadeira enciclopédia aplicada ao Ensino de Química e à formação cidadã.

Em "Agrotóxicos, do uso ao abuso", o debate está nas formas de reverter os impactos ambientais causados pelo uso excessivo de pesticidas, especialmente em áreas próximas a reservas naturais. O capítulo destaca os riscos ecológicos do uso indiscriminado de produtos químicos nas lavouras - uma discussão urgente, considerando que o Brasil continua sendo o maior consumidor mundial de agrotóxicos[8]. Na mesma linha, os estudos de caso "Renascendo das cinzas", "Plásticos biodesagradáveis", "De olho no óleo" e "Peixe também morre afogado?" abordam questões ambientais que precisam ser trabalhadas em sala de aula. Além de atuais, esses temas estão diretamente alinhados às competências e habilidades previstas na Base Nacional Comum Curricular e nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Química.

---

7 Confederação Brasileira de Futebol. Cadastro nacional de estádios de futebol. Disponível em: https://www.cbf.com.br/a-cbf/noticias Acesso em: 23 ago. 2025.

8 Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Pesticides use and trade. 1990-2022", *FAO*, 19 jul. 2024, disponível em: https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/pesticides-use-and-trade-1990-2022/en. Acesso em 24 ago. 2025.

Neste contexto, vale ressaltar que todos os capítulos desta obra demonstram, de forma consistente, a relevância do método de estudo de casos para o Ensino de Química, tanto na Educação Básica quanto no Ensino Superior. Em "Uma xícara de sabor, por favor", por exemplo, são discutidos os diferentes métodos de extração e suas implicações no sabor do café - a segunda bebida mais consumida no Brasil[9]. A proposta articula saberes científicos com elementos do cotidiano, favorecendo a contextualização e o engajamento dos estudantes. Esse cuidado com o leitor é perceptível desde o início da obra e se estende aos capítulos finais, como "O desafio picante", "Paleta láctea: uma exploração das cores do leite" e "O desafio do malte", que exploram problemas relacionados à ciência dos alimentos. Todas as narrativas apresentadas reforçam o potencial do estudo de caso para aproximar o Ensino de Química das questões sociocientíficas da sociedade.

A leitura desta obra revelou-se enriquecedora. Fica evidente que os casos investigativos constituem um recurso didático e sistêmico. Mais uma vez, a professora Salete Linhares Queiroz e seus colaboradores oferecem uma contribuição valiosa ao campo da educação científica, em continuidade a trabalhos já reconhecidos em publicações anteriores. O texto evidencia o papel do docente como "produtor" - e não mero "reprodutor" - de materiais didáticos. O propósito do livro vai além da simples reprodução dos estudos de caso apresentados: busca fornecer elementos que permitam ao leitor aprender, refletir criticamente sobre suas práticas e desenvolver seus próprios casos investigativos.

Boa leitura!

9 Gabriela M. R. N. Alcantara, Dayane Dresch e Wanessa R. Melchert, "Use of non-volatile compounds for the classification of specialty and traditional Brazilian coffees using principal component analysis", *Food Chemistry*, vol. 360, 130088, 2021. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130088

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 14
Salete Linhares Queiroz
Caio Moralez de Figueiredo

CAPÍTULO 1

ESTUDO DE CASO:
GRAMA SINTÉTICA, O NOVO VERDE DOS ESTÁDIOS 17
Eduardo Orlando Bartaquim
Iuri Neves Soares
Pabllo Abreu Alves

1.1 Apontamentos Didáticos 18
1.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 20
1.3 Fonte de Inspiração na Produção do Caso 25
1.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 25
1.4.1 Polietileno 25
1.4.2 Polipropileno 26
1.4.3 Poliamida ou náilon 27
1.5 Para Saber Mais 28
1.5.1 Grama natural vs. grama sintética: qual é a melhor opção para os estádios 28
1.5.2 Química e futebol: a ciência de uma paixão 28

CAPÍTULO 2

ESTUDO DE CASO:
INFLANDO O PERIGO 29
Caio Moralez de Figueiredo
Renata Almeida Chagas

2.1 Apontamentos Didáticos 31
2.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 32
2.3 Fontes de Inspiração na Produção do Caso 34
2.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 35
2.4.1 Substituição do nitrato de amônio pela azida de sódio 35
2.4.2 Substituição do nitrato de amônio pelo nitrato de guanidina 36
2.4.3 Substituição do nitrato de amônio por reação que produz gás carbônico 37
2.5 Para Saber Mais 38
2.5.1 A química por dentro do airbag 38
2.5.2 Reações rápidas: a química de um airbag e a explosão do TNT 38

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO:
AGROTÓXICOS, DO USO AO ABUSO 39
Kleyton Junior Gomes de Morais
Matheus Gotha
Rafael Cava Mori

3.1 Apontamentos Didáticos 40
3.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 43
3.3 Fontes de Inspiração na Produção do Caso 45
3.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 45
3.4.1 Biorremediação microbiana 46
3.4.2 Fitorremediação 47
3.4.3 Degradação e imobilização química 48
3.5 Para Saber Mais 49
3.5.1 Alternativas na mesa 49
3.5.2 Agrotóxicos podem afetar a saúde de trabalhadores rurais 49

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO:
RENASCENDO DAS CINZAS 50
Cyntia Vasconcelos de Almeida
Felipe Santana Pena

4.1 Apontamentos Didáticos 51
4.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 52
4.3 Fontes de Inspiração na Produção do Caso 54
4.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 55
4.4.1 Calagem 55
4.4.2 Adubação química 56
4.5 Para Saber Mais 57
4.5.1 Seca e incêndios reduzem a biodiversidade das matas 57
4.5.2 Sequência didática e queimadas: uma estratégia de ensino para o estudo de termoquímica 58

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO:
PLÁSTICOS "BIODESAGRADÁVEIS" 59
Lucas Freitas Feitosa
Pedro Augusto Sponchiado
Caio Moralez de Figueiredo

5.1 Apontamentos Didáticos 60
5.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 62

5.3 Fontes de Inspiração na Produção do Caso 65
5.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 66
5.4.1 Implementação de um sistema de compostagem na escola 66
5.4.2 Substituição total de plástico descartável por utensílios reutilizáveis. 67
5.5 Para Saber Mais 69
5.5.1 Está chovendo microplásticos! E agora? 69
5.5.2 A promessa dos bioplásticos 69

CAPÍTULO 6

ESTUDO DE CASO:
DE OLHO NO ÓLEO 71
Helaíny Wanyessy Kenya Rodrigues Silva Chagas
Thiago Wedson Hilario
Pabllo Abreu Alves

6.1 Apontamentos Didáticos 73
6.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 76
6.3 Fonte de Inspiração na Produção do Caso 79
6.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 79
6.4.1 Descarte consciente em ponto de coleta seletiva 80
6.4.2 Sabão caseiro. 81
6.4.3 Velas decorativas 82
6.4.4 Biodiesel 83
6.5 Para Saber Mais 84
6.5.1 Reutilização de óleos de cozinha na produção de sabão: uma abordagem temática potencializadora do ensino de química 84
6.5.2 Uma visão multi e interdisciplinar a partir da prática de saponificação. 85

CAPÍTULO 7

ESTUDO DE CASO:
PEIXE TAMBÉM MORRE AFOGADO? 86
Adriana Gruli de Melo
Giovane Santos dos Reis
Rafael Cava Mori

7.1 Apontamentos Didáticos 87
7.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 90
7.3 Fontes de Inspiração na Produção do Caso 93
7.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 94
7.4.1 Modificação da temperatura da água 94
7.4.2 Aumento da acidez da água 95
7.4.3 Outras hipóteses. 96
7.5 Para Saber Mais 97

7.5.1 Efeitos da poluição em peixes 97
7.5.2 Fish die-off in river and reservoir: a review on anoxia and gas supersaturation . 97

CAPÍTULO 8

ESTUDO DE CASO:
UMA XÍCARA DE SABOR, POR FAVOR 98
Evelin Ribeiro Cardoso
Priscila Martini de Souza
Renata Almeida Chagas

8.1 Apontamentos Didáticos 99
8.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 102
8.3 Fonte de Inspiração na Produção do Caso 105
8.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 105
8.4.1 Prensa francesa 105
8.4.2 Cafeteira italiana 106
8.4.3 Método de extração por Aeropress 106
8.4.4 V60 107
8.4.5 Cafeteira expresso 107
8.5 Para Saber Mais 108
8.5.1 Elaboração de uma sequência didática no ensino de química estruturada em uma metodologia ativa com tema gerador: o café 108
8.5.2 Café: aspectos gerais e seu aproveitamento para além da bebida 109

CAPÍTULO 9

ESTUDO DE CASO:
O DESAFIO PICANTE 110
Arthur Moraes Franco da Rocha
Daniel Yanke Brasilino
Renata Almeida Chagas

9.1 Apontamentos Didáticos 112
9.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 114
9.3 Fontes de Inspiração na Produção do Caso 116
9.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 117
9.4.1 Extração por solvente 117
9.4.2 Extração por Soxhlet 118
9.4.3 Hidrodestilação 119
9.5 Para Saber Mais 119
9.5.1 A escala de Scoville: a ciência por trás da pungência das pimentas. 119
9.5.2 Análise de alimentos contendo cúrcuma: uma sequência experimental simples para a sala de aula e divulgação científica. 120

CAPÍTULO 10

ESTUDO DE CASO:
PALETA LÁCTEA: UMA EXPLORAÇÃO DAS CORES DO LEITE 121
Letícia Tagliavini de Assis
Natália Wolf de Faria
Ricardo Matos

10.1 Apontamentos Didáticos 122
10.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 124
10.3 Fonte de Inspiração na Produção do Caso 126
10.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 126
10.4.1 Tratamento térmico inadequado 126
10.4.2 Contaminação residual com lactase 127
10.5 Para Saber Mais 128
10.5.1 Atividades lúdicas e investigativas sobre fraude no leite para o ensino de química e reflexão moral 128
10.5.2 Leite em 'mama' África e a educação para as relações étnico-raciais (ERER) no ensino de química 129

CAPÍTULO 11

ESTUDO DE CASO:
O DESAFIO DO MALTE 130
Gustavo Vasconcelos Gomes
Winnie Evelyn Valeria Perez Vite
Pabllo Abreu Alves

11.1 Apontamentos Didáticos 131
11.2 Características do Caso e Contextualização do Tema 133
11.3 Fonte de Inspiração na Produção do Caso 136
11.4 Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta 136
11.4.1 Alimentação de animais 136
11.4.2 Alimentação humana 137
11.4.3 Biocombustível e fonte de energia renovável 139
11.4.4 Fertilização do solo 139
11.5 Para Saber Mais 140
11.5.1 "Cultos em cerveja": discurso sobre a cerveja artesanal no Brasil 140
11.5.2 Inovações cervejeiras 140
11.5.3 Cerveja egípcia? Educação para as relações étnico-raciais (ERER) na formação docente em química 141

APRESENTAÇÃO

SALETE LINHARES QUEIROZ[1]
CAIO MORALEZ DE FIGUEIREDO[2]

O livro "Estudo de Casos no Ensino de Química"[3], de autoria de Luciana Passos Sá e Salete Linhares Queiroz, publicado há 16 anos, é pioneiro na difusão do uso de estudos de caso em ambientes de ensino de química no Brasil. No livro, o método de estudo de caso é definido como uma variante da Aprendizagem Baseada em Problemas (em inglês, *Problem Based Learning*), pautado em narrativas sobre dilemas reais que demandam dos estudantes uma tomada de decisão para a solução de um problema, considerando não apenas o conhecimento científico, mas também implicações sociais, ambientais, econômicas, políticas e morais[4].

O uso de estudos de caso na educação é defendido por seu potencial para fomentar o pensamento crítico, a resolução de problemas e a capacidade de argumentação dos estudantes, especialmente sobre temas que envolvem ciência e tecnologia. Com isso, favorece-se a aprendizagem de conceitos científicos e também o desenvolvimento de habilidades interpessoais, como a comunicação e o trabalho em equipe[5].

A excelente receptividade que o uso de estudos de caso encontrou, ao longo dos anos, em salas de aula de química no nosso país, impulsionou a publicação de outras cinco obras sobre a temática por parte do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do Instituto de Química de São Carlos (GPEQSC), coordenado pela professora Salete Linhares Queiroz. A publicação de 2016[6] reuniu casos produzidos por professores matriculados no Curso de Especialização em Educação

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 Mestrando 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, 1. ed., 2009.

4 Jane Raquel Silva de Oliveira, "Resenha: estudo de caso no ensino de química", *Revista Ensaio*, vol. 12, n. 2, pp. 279-280, 2010.

5 Juliana Romero de Mendonça e Dulcimeire A. Volante Zanon, "Experimentos investigativos a partir da temática refrigerante no ensino de ciências", *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 12, n. 3, pp. 43-55, 2017.

6 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.

em Ciências, do Centro de Divulgação Científica e Cultural da Universidade de São Paulo (CDCC-USP), com propostas de aplicação no ensino básico.

Em 2017 e 2018, dois livros[7],[8] apresentaram casos de autoria de estudantes do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo (IQSC-USP), desenvolvidos tanto para o ensino básico quanto para o superior. Em 2020, um novo livro[9], originado do Curso de Especialização em Metodologia do Ensino de Ciências Naturais, também oferecido no CDCC-USP, trouxe casos voltados para o ensino de ciências naturais e para a educação ambiental no nível básico. Em 2023, mais um novo título[10] foi publicado com casos de autoria de pós-graduandos da USP e aplicabilidade no ensino superior e básico.

Mantendo o propósito de difundir o método de estudo de caso e de fornecer subsídios a professores para a sua aplicação, este livro, mais uma iniciativa do GPEQSC, reúne casos desenvolvidos como produto final nos componentes curriculares de pós-graduação SQF5798-Docência no Ensino Superior de Química: Preparação Pedagógica e ECQ5719-Aprendizagem de Ciências Baseada em Casos, oferecidos na USP.

Os casos foram escritos com base em diretrizes sugeridas por Herreid *et al.*[11] para a construção de uma boa narrativa. Dessa forma, são textos curtos, que não ultrapassam duas páginas), envolvem dilemas atuais, promovem empatia por meio de diálogos e personagens com os quais o leitor se identifica, apresentam um conflito que exige uma tomada de decisão e possuem clara utilidade pedagógica, articulando conceitos científicos.

Para cada caso, o livro brinda os leitores com os seguintes tópicos, além da narrativa: *Apontamentos Didáticos*; *Características do Caso e Contextualização do Tema*; *Fonte(s) de Inspiração na Produção do Caso*; *Soluções para o Caso e Conteúdos de Química em Pauta*; e *Para Saber Mais*. A contextualização e as fontes de inspiração enriquecem a abordagem, adicionando facetas que extrapolam a perspectiva química e incentivam investigações sob diferentes aspectos. As possíveis soluções balizam a aplicação, sem impedir que outras, não previstas pelos

7 Salete Linhares Queiroz e Erasmo Moisés dos Santos Silva, *Estudos de caso para o ensino de química 1*, Curitiba, Editora CRV, 2017.

8 Salete Linhares Queiroz e Daniela Marques Alexandrino, *Estudos de caso para o ensino de química 2*, Curitiba, Editora CRV, 2018.

9 Salete Linhares Queiroz e Flávia Gabriele Sacchi, *Estudos de caso no ensino de ciências naturais e na educação ambiental*, São Carlos, Diagrama Editorial, 2020.

10 Salete Linhares Queiroz e Carolina Sotério, *Estudos de caso: abordagem para o ensino de química*, São Carlos, Diagrama Editorial, 2023.

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.

autores, sejam incorporadas. Ao final, encontra-se a indicação de materiais suplementares que podem enriquecer as discussões.

Os casos possuem potencialidade para aplicação em diversos componentes curriculares de cursos de graduação, assim como no ensino básico. Alguns deles demandam resoluções que considerem questões sociocientíficas, enquanto outros exigem conhecimentos químicos, como os envolvidos, por exemplo, nas reações em airbags, na adubação química, em métodos de extração e em processos de fermentação.

Esta obra, em suma, não apenas dá continuidade à consolidada trajetória de pesquisa do GPEQSC, como também reafirma seu compromisso com a formação de novos educadores, ao incentivar a autoria discente, e apresenta-se, dessa forma, como uma valiosa ferramenta para a disseminação e o fortalecimento da abordagem de estudos de caso no cenário educacional brasileiro.

Os casos presentes neste livro são intitulados: *Grama sintética, o novo verde dos estádios*; *Inflando o perigo*; *Agrotóxicos, do uso ao abuso*; *Renascendo das cinzas*; *Plásticos "biodesagradáveis"*; *De olho no óleo*; *Peixe também morre afogado?*; *Uma xícara de sabor, por favor*; *O desafio picante*; *Paleta láctea: uma exploração das cores do leite*; *O desafio do malte*.

CAPÍTULO 1

ESTUDO DE CASO: **GRAMA SINTÉTICA, O NOVO VERDE DOS ESTÁDIOS**

EDUARDO ORLANDO BARTAQUIM[1]
IURI NEVES SOARES[2]
PABLLO ABREU ALVES[3]

Ser estagiário, com certeza, não é uma tarefa fácil! Além de ser culpado por tudo que dá errado, ainda precisa apresentar soluções inteligentes para problemas bastante complexos que surgem o tempo todo. Assim é a vida de Marcos, estagiário de química na empresa Sintetiza Grama, que, na manhã do dia 22 de junho, dirigia-se à sala de reuniões para conhecer as suas novas tribulações, a convite da doutora Clara, especialista em polímeros e sua supervisora.

– Bom dia, Marcos, tudo bem? Quero que você conheça o Roberto. Ele é engenheiro da Campo Belo Construções e veio pedir nossa ajuda hoje.

– Olá, Marcos, tudo bem? É uma honra conhecê-lo. Vamos direto ao assunto, pois imagino que você deve estar bastante atarefado. Eu sei como é difícil a vida do estagiário. Você deve ter ouvido falar que nós fomos contratados para construir um campo de futebol para o Sintetiza F.C. (o maior clube de futebol da região).

– Nossa, sim, claro que ouvi falar. Eu amo o Sintetiza! Fiquei sabendo que o estádio deve ser enorme!

– Exatamente! Esperamos que, além dos jogos, consigamos trazer para o estádio shows e eventos. Para dar conta de tudo isso sem gastar muitos recursos, encontramos diversas soluções, como, por exemplo, utilizar lâminas entrelaçadas e perfuradas que são autolimpantes, reduzindo o consumo de água e que promovem a passagem de ar natural para manter o ambiente mais agradável, assim

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 em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

como permitem a entrada de luz, reduzindo a necessidade de utilização de energia elétrica para iluminar o estádio.

– Esplêndido! – diz Luísa, diretora do departamento de sustentabilidade da empresa, entrando apressadamente pela porta da sala – desculpem o atraso!

– Sem problemas, fique à vontade – continua Roberto. O projeto original previa o uso de grama natural no estádio, no entanto, devido à expectativa de grande quantidade de shows e eventos, nenhum gramado natural nas condições normalmente utilizadas daria conta de se recuperar tão rapidamente. Sendo assim, procuramos vocês pensando na possibilidade de utilizar grama sintética. A doutora Clara sugeriu o seu nome e nos disse que possui bastante conhecimento sobre o assunto, apesar de ser muito jovem.

– Bem... – começa a dizer Marcos.

– Ele é maravilhoso – interrompe a doutora Clara. Vai fazer um ótimo trabalho, e ainda tem a Luísa para ajudar.

– É claro, faremos um ótimo time e apresentaremos um projeto o mais breve possível! – diz Luísa.

– Mas... – Marcos tenta falar.

– Excelente, entraremos em contato assim que vocês nos enviarem o projeto! – interrompe Roberto, finalizando a reunião.

No lugar de Marcos, indique polímeros que você recomendaria para a fabricação da grama sintética, considerando as propriedades químicas e os desafios financeiros e ambientais envolvidos no projeto.

1.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

Os assuntos discutidos no caso englobam, dentre outros aspectos, a modernização dos estádios de futebol, em especial a troca da grama natural pela sintética, assunto que vem causando muita controvérsia no meio esportivo.

A grama sintética é composta, em linhas gerais, pelo tapete verde, que simula a grama natural, formado por várias lâminas de plástico ou náilon, por uma camada de material amortecedor e pelo enchimento, possibilitando a fixação da grama[4]. Assim, cada um desses componentes pode trazer riscos à saúde humana,

4 Rachel Massey e Lindsey Pollard, "Everything you need to know about artificial turf", *Center for Environmental Health*, 19 ago. 2022, disponível em: https://ceh.org/yourhealth/everything-you-need-to-know-about-artificial-turf/. Acesso em 01 ago. 2025.

pois são constituídos por diversos materiais, em especial no caso do enchimento, que pode ser feito de plástico triturado, normalmente obtido de pneus descartados. Nesse contexto, além dos compostos utilizados na fabricação da borracha, várias outras substâncias podem estar presentes após terem sido aderidas durante o uso dos pneus na estrada, o que inclui hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e compostos orgânicos voláteis. Além disso, vários metais já foram identificados, como zinco, cádmio e cromo, assim como diversos materiais carcinogênicos e neurotóxicos[5].

Além da preocupação com a saúde, existem questões ambientais envolvidas no processo, como a produção de microplásticos, tendo em vista que parte das lâminas sintéticas se degradam: os campos costumam perder, por meio do atrito durante o uso e exposição às radiações solares, entre 0,5 e 8% das suas lâminas por ano[6]. Esses microplásticos podem gerar contaminação em corpos hídricos, no ar e no solo.

Tendo em vista o exposto, a aplicação do caso possibilita discussões acerca da saúde humana e da proteção ambiental em um contexto que envolve elementos sociais, culturais, econômicos e esportivos. A temática apresentada, por sua vez, está diretamente conectada com a área de polímeros e pesquisa em materiais, em especial os estudos de polímeros sintéticos, algo destacado na narrativa por meio da delimitação da questão problema com foco no material da grama sintética.

Dentre os componentes curriculares com os quais o caso se relaciona estão: Química Inorgânica, Processos Industriais, Química Orgânica, Resíduos Químicos, Ciências dos Materiais, Análise de Compostos Orgânicos e Ciência e Tecnologia de Polímeros. Nessa perspectiva, podem ser abordados os tipos de polímeros e suas características, incluindo a diferenciação entre termoplástico e termorrígido, as formas de contaminação por microplástico, a interação entre materiais diversos e sistemas biológicos, os processos de degradação de plásticos devido à ação de raios ultravioleta (UV).

A aplicação do estudo de caso também pode propiciar o desenvolvimento de habilidades previstas na formação do graduado de acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química[7]: "(...) refletir sobre o com-

5 Hefa Cheng, Yuanan Hu e Martin Reinhard, "Environmental and helth impacts of artificial turf: a review", *Environmental Science & Technology*, vol. 48, pp. 2114-2129, 2014. https://doi.org/10.1021/es4044193

6 Yasmin Alipour Ataabadi, Heidar Sadeghi e Mohammad Hosein Alizadeh, "The effects of artificial turf on the performance of soccer players and evaluating the risk factors compared to natural grass", *Journal of Neurological Research and Therapy*, vol. 2, n. 2, pp. 1-16, 2017. https://doi.org/10.14302/issn.2470-5020.jnrt-17-1487

7 Brasil, Ministério da Educação, "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química", disponível em: https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf. Acesso em 01 ago. 2025.

portamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político (...)"(p. 4); "(...) respeitar o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos" (p. 4); "saber realizar avaliação crítica da aplicação do conhecimento em Química tendo em vista o diagnóstico e o equacionamento de questões sociais e ambientais" (p. 5); "conhecer aspectos relevantes de administração, de organização industrial e de relações econômicas" (p. 6); e "saber realizar o controle de operações ou processos químicos no âmbito de atividades de indústria, vendas, marketing, segurança, administração pública e outras (...)" (p. 6).

No contexto da educação básica, a Base Nacional Comum Curricular[8], na área de ciências da natureza, chama a atenção para a discussão de questões ambientais no ensino médio. A habilidade EM13CNT105, por exemplo, ressalta a análise da ciclagem de elementos químicos no meio ambiente e nos seres vivos, promovendo ações capazes de minimizar as consequências nocivas. Por outro lado, a habilidade EM13CNT203 trata da capacidade de prever e avaliar os efeitos das intervenções nos ecossistemas, o que envolve a compreensão dos mais variados mecanismos de ciclos de matéria e de manutenção da vida. Assim, é relevante para a formação do cidadão compreender a forma como os microplásticos e outras substâncias tóxicas, que podem estar presentes no enchimento da grama sintética, impactam o meio ambiente, além de entender o que deve ser feito para lidar com isso, evitando ou mitigando os efeitos negativos.

1.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

De acordo com os critérios elencados por Herreid *el al.*[9], o caso aqui apresentado pode ser considerado bom. Isso se deve, primeiramente, por ser curto, ocupando menos de duas páginas. O caso precisa manter a atenção do leitor, algo estimulado pela narrativa devido à simplicidade de sua questão problema, que é de fácil compreensão e possibilita a mobilização de conhecimentos diversos, sejam eles, por exemplo, da área de polímeros e/ou materiais.

A presença de conflito é também desejável na estruturação de um bom caso, evidenciado aqui com relação a qual material utilizar no gramado, já que alguns preferem a manutenção da grama e menores custos, enquanto outros privilegiam

8 Brasil, Ministério da Educação, "Base Nacional Comum Curricular", disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em 01 ago. 2025.

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.

a preservação da saúde dos atletas e um menor impacto ambiental. Nesse sentido, nenhum material é perfeito e excelente em todos os critérios.

Outro ponto importante para a narrativa é a sua capacidade de gerar empatia, algo que é fomentado a partir do uso de uma linguagem simples e compreensível e da presença de um protagonista facilmente identificável, cuja função, provavelmente, já foi ou ainda será desempenhada pelos estudantes da área de ciências naturais. A inserção de comicidade também colabora para esse quesito, sendo observável na situação exposta na qual o estagiário, embora faça algumas tentativas, não consegue expressar suas opiniões.

O caso é estruturado[10], apresentando uma problemática passível de várias soluções, fazendo com que os alunos precisem pensar de forma crítica, selecionar a opção mais viável e argumentar em favor dela, ou seja, possibilita o desenvolvimento de habilidades importantes para um graduando em química ou aluno de ensino médio.

Quanto à relevância do tema, é necessário retornar no tempo e discutir sobre como o espaço urbano é transformado socialmente. Mais especificamente, é preciso abordar a transformação dos estádios de futebol, algo que revela uma questão que vai além da arquitetura e da infraestrutura esportiva: trata-se da produção do espaço urbano e sua relação com a cultura e o capital[11]. No passado, os estádios serviam como centros de convívio social e lazer, contribuindo para a construção da identidade coletiva das cidades e comunidades ao seu redor. Isso pode ser visto em diversos estádios, que acabam influenciando a urbanização ao redor deles, criando espaços de encontros e interações sociais. Esse é um exemplo clássico do que Henri Lefebvre[12] denomina como produção do espaço vivido, no qual os estádios eram espaços de convivência popular, onde as ruas, calçadas e a própria estrutura interna proporcionavam momentos de interação espontânea.

Nas últimas décadas, com o avanço das políticas neoliberais, principalmente a partir dos anos 1990, o futebol passou a ser um elemento importante dentro do processo de financeirização do espaço urbano. Reformas, como as implementadas inicialmente por Margaret Thatcher no Reino Unido, começaram a transformar os estádios em arenas que servem ao capital, reduzindo o espaço de vivência a um espaço de consumo. Essa transformação se espalhou pela Europa e chegou ao Brasil com mais força durante a Copa do Mundo de 2014, quando vários estádios passaram por reformas ou foram construídos, seguindo a lógica das arenas

10 Luciana Passos Sá, Ana Cláudia Kasseboehmer e Salete Linhares Queiroz, "Casos investigativos de caráter sociocientífico: aplicação no ensino superior de química", *Educación Química*, vol. 24, n. extraordinário 2, pp. 522-528, 2013. https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72523-0

11 Rodrigo Accioli, "A relação entre a crise urbana e o futebol", *Carta Capital*, 12 abr. 2023, disponível em: https://www.cartacapital.com.br/blogs/br-cidades/a-relacao-entre-a-crise-urbana-e-o-futebol/. Acesso em 01 ago. 2025.

12 Henri Lefebvre, *O direito à cidade*, 5. ed., São Paulo, Centauro, 2009.

multiuso, onde o futebol divide espaço com eventos comerciais, shopping centers, cinemas e outros serviços[13].

Um exemplo disso é o estádio Allianz Parque, localizado em São Paulo, de propriedade da Sociedade Esportiva Palmeiras. O estádio passou, recentemente, por um processo de modernização, o que inclui a utilização de um gramado sintético, algo muito importante devido à grande carga de eventos que recebe. Isso está de acordo com a mudança do estádio para ser uma arena multiuso e recebendo, por exemplo, grandes atrações musicais[14]. No caso do Allianz Parque, este recebeu 1726 eventos nos seus primeiros dez anos, tendo como destaque o músico Paul McCartney, que foi o que mais fez apresentações no estádio, além de ter recebido grandes bandas, como Iron Maiden e Coldplay.

Ainda em relação a momentos marcantes, o show com maior público nessa primeira década foi o da artista Taylor Swift, que fez com que 50 mil pessoas comparecessem ao estádio[15]. Além da carga de eventos, a mudança para o gramado sintético condiz com as novas perspectivas dos dirigentes do futebol sul-americano[16], que está cada vez mais favorável ao uso de grama artificial, assim como visa um melhor desempenho esportivo no que diz respeito à velocidade e plasticidade do atleta, isto é, tornar o "espetáculo" mais atrativo ao público.

O Allianz também se destaca por seu compromisso com as questões ambientais, algo destacado pela *Environmental, Social and Governance*, que colocou a arena do Palmeiras como uma das mais sustentáveis do planeta[17]. Nesse sentido, o Allianz firmou o Compromisso Rumo ao Lixo Zero, tendo reaproveitado 75% do seu lixo produzido em 2023, e com 50% do seu consumo oriundo de fontes renováveis, possuindo um sistema eficiente de captação de água da chuva, que direciona os fluidos para hidratação do gramado e abastecimento sanitário da arena.

---

13 José Custodio Rosa Filho, *Alma: a história da arena esportiva mais antiga do país*, São Paulo, Edição do Autor, 2012.

14 Irlan Simões, "Rumo à 'desarenização'? Como as arenas do Brasil estão adotando mudanças vistas na Europa", *Globo Esporte*, 04 abr. 2023, disponível em: https://ge.globo.com/futebol/noticia/2023/04/04/rumo-a-desarenizacao-como-as-arenas-do-brasil-estao-adotando-mudancas-vistas-na-europa.ghtml. Acesso em 01 ago. 2025.

15 Ricardo Magatti, "Allianz Parque recebeu 14 mi de pessoas, se tornou ponto turístico e virou motivo de crise por shows", *Estadão*, 19 nov. 2024, disponível em: https://www.estadao.com.br/esportes/futebol/jogos-shows-restaurantes-e-tour-allianz-parque-recebeu-14-milhoes-de-pessoas-e-17-mil-eventos/. Acesso em 01 ago. 2025.

16 Pedro Leite e Paulo Azevedo, "Arena MRV terá gramado sintético? Veja o que o presidente do Atlético-MG disse", *CNN Brasil*, 03 out. 2024, disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/esportes/futebol/atletico-mineiro/arena-mrv-tera-gramado-sintetico-veja-o-que-o-presidente-do-atletico-mg-disse/. Acesso em 01 ago. 2025.

17 Gazeta Esportiva, "Allianz Parque bate europeus e se torna uma das arenas mais sustentáveis do mundo", *UOL*, 11 set. 2024, disponível em: https://www.uol.com.br/esporte/futebol/ultimas-noticias/gazeta-esportiva/2024/07/11/allianz-parque-supera-europeus-e-se-torna-uma-das-arenas-mais-sustentaveis-do-mundo.htm. Acesso em 01 ago. 2025.

Outro acontecimento recente que chamou a atenção com relação aos estádios sul-americanos foi a mudança do gramado do Nilton Santos, arena do Botafogo, no Rio de Janeiro, que se tornou sintético, adotando uma tecnologia inédita no Brasil[18]. Diferentemente do Allianz Parque e da Ligga Arena (Athletico-PR), o Nilton Santos utiliza uma grama sintética mista, além de aplicar um sistema de irrigação mais moderno, resultando assim em um campo de alta performance, mas que não aquece tanto quanto outros gramados 100% sintéticos.

Por fim, cabe ressaltar a Neo Química Arena, também conhecida por Arena Corinthians, em São Paulo, como sendo a única de gramado híbrido costurado do Brasil, ou seja, além de utilizar uma combinação de fibras naturais e artificiais, aplica uma tecnologia sofisticada de inserção da grama[19]. Essa "costura" permite uma troca eficiente de toda a grama a cada temporada, evitando assim o desgaste que costuma ser apresentado nos estádios brasileiros. Da mesma forma, o uso de um sistema híbrido faz com que lesões, contaminações e superaquecimentos sejam evitados. A Neo Química Arena utiliza grama do tipo Ryegrass puro, sendo pioneira nesse aspecto.

O caso em questão é, portanto, atual, considerando que, além das discussões esportivas acerca da implementação da grama sintética, o tema acabou se tornando um assunto político e cultural, que divide comunidades[20]. Outrossim, várias pesquisas vêm sendo realizadas com relação ao impacto e viabilidade do uso de grama sintética, como é o caso do trabalho de Bø, Bohne e Lohne[21], uma revisão da literatura que expõe uma abordagem multidisciplinar com relação ao gramado sintético.

Ainda nesse cenário, a União Europeia baniu enchimentos feitos de pneus triturados para uso em gramados sintéticos, já que contribuem para a formação de microplásticos, além de possuírem diversos compostos que aderem aos pneus, conforme o uso[22]. A preocupação com relação aos microplásticos se deve ao fato

---

18 Artur Rocha, "Por que 'tapetinho' do Botafogo é diferente de sintéticos de Athletico-PR e Palmeiras", *ESPN*, 23 ago. 2023, disponível em: https://www.espn.com.br/futebol/botafogo/artigo/_/id/12480630/por-que-tapetinho-botafogo-diferente-sinteticos-athletico-pr-palmeiras. Acesso em 01 ago. 2025.

19 José Edgar Matos, "Melhor do Brasil? Entenda por que gramado do estádio do Corinthians encanta até Abel Ferreira", *Globo Esporte*, 22 abr. 2024, disponível em: https://ge.globo.com/futebol/times/corinthians/noticia/2024/04/22/melhor-do-brasil-entenda-por-que-gramado--do-estadio-do-corinthians-encanta-ate-abel-ferreira.ghtml. Acesso em 01 ago. 2025.

20 Tyler Delpercio, "Grass versus artificial turf: the debate in NJ can be divisive", *NJ Spotlight News*, 26 jul. 2024, disponível em: https://www.njspotlightnews.org/2024/07/grass-versus-artificial--turf-the-debate-in-nj-can-be-divisive/. Acesso em 01 ago. 2025.

21 Simen M. Bø, Rolf A. Bohne e Jardar Lohne, "Environmental impacts of artificial turf: a scoping review", *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 21, pp. 10205-10216, 2024. https://doi.org/10.1007/s13762-024-05689-3

22 Philip Zuccaro *et al.*, "The European Union ban on microplastics includes artificial turf crumb rubber infill: other nations should follow suit", *Environmental Science & Technology*, vol. 58, n. 6, pp.2591-2594, 2024. https://doi.org/10.1021/acs.est.4c00047

de tais partículas, com diâmetro menor que cinco milímetros, espalharem-se facilmente pelo solo, ar e água. Embora ainda não se saiba ao certo a extensão dos danos oriundos do acúmulo de microplástico no organismo humano, existem indícios do aumento de chances de ataques cardíacos[23]. Além disso, essas partículas chegam em abundância até os animais marinhos, causando desequilíbrios ambientais[24].

No que tange aos atletas, não existe um consenso quanto ao impacto do gramado sintético com relação a lesões. Gould *et al.*[25] apontam para uma maior taxa de lesões na grama sintética em comparação à grama natural, situação posta de forma contrária no trabalho de Kuitunen *et al.*[26], que afirmam ocorrerem menos lesões na grama sintética. É sabido que boa parte das lesões nos ligamentos dos joelhos e tornozelos é oriunda do torque gerado quando o jogador faz uma parada brusca ou muda repentinamente a direção do pé, algo agravado no gramado sintético, considerando que o preenchimento é empurrado para fora ou comprimido durante o giro, ambas ações que dificultam o movimento.

Por fim, o caso traz à tona uma temática de interesse geral no Brasil, abordando o futebol, um dos esportes mais economicamente expressivos no país, além de envolver outros esportes e atividades culturais que também utilizam gramado. Isso atrai a atenção dos alunos e os engaja em temas relevantes, como química de materiais e sustentabilidade. Além disso, o estudo de caso apresenta um cenário real e desafiador, incentivando a proposição de soluções para o complexo problema da escolha de polímeros adequados para a grama sintética em um estádio multifuncional. Esse contexto imita situações do mundo corporativo, estimulando o desenvolvimento de habilidades de solução de problemas, e simula também a tomada de decisão.

---

23 Joe Myers e Madeleine North, "Microplastics: are we facing a new health crisis – and what can be done about it?", *World Economic Forum*, 19 fev. 2025, disponível em: https://www.weforum.org/stories/2025/02/how-microplastics-get-into-the-food-chain/. Acesso em 01 ago. 2025.

24 João Pinto da Costa *et al.*, "(Nano)plastics in the environment: sources, fates and effects", *Science of the Total Environment*, vol. 566-567, pp. 15-26, 2016. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.041

25 Heath P. Gould *et al.*, "Lower extremity injury rates on artificial turf versus natural grass playing surfaces: a systematic review", *The American Journal of Sports Medicine*, vol. 51, n. 6, pp. 1615-1621, 2022. https://doi.org/10.1177/03635465211069562

26 Ilari Kuitunen *et al.*, "Incidence of football injuries sustained on artificial turf compared to grass and other playing surfaces: a systematic review and meta-analysis", *eClinicalMedicine*, vol. 59, 101956, 2023. https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.101956

1.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A principal fonte de inspiração para o caso foi a visita de um dos autores deste capítulo ao estádio Allianz Parque, de propriedade da Sociedade Esportiva Palmeiras, onde, durante o tour, os guias fizeram diversas observações sobre medidas que são tomadas para tornar a sua operação econômica e sustentável.

1.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Tendo em vista a necessidade da escolha do polímero a ser utilizado na grama sintética do Sintetiza F.C., clube fictício apresentado no caso, três opções são apresentadas a seguir.

1.4.1 POLIETILENO

O polietileno (PE) é um polímero termoplástico amplamente utilizado devido à sua versatilidade, baixo custo e boas propriedades mecânicas[27]. Além disso, também é leve e resistente à água e a produtos químicos, o que o torna ideal para aplicações em embalagens, filmes, tubos e brinquedos. Esses fatores contribuem para que seja o plástico mais utilizado globalmente, algo que também atesta, de forma prática, sua viabilidade e eficácia[28].

O PE possibilita uma superfície de jogo mais macia e segura, atendendo às demandas de diferentes esportes, além de proporcionar maior longevidade ao gramado por apresentar boa resistência à abrasão, intempéries e desgastes. Ademais, o gramado de PE é o que possui a aparência mais próxima do natural[29].

Na contramão dos pontos positivos já elencados, o PE é produzido a partir de matrizes fósseis, sendo que sua lenta degradação no ambiente levanta preocupações sobre a sustentabilidade. Nesse sentido, a reciclagem é crucial para minimizar o impacto ambiental do PE, mas a falta de infraestrutura adequada em muitos

27 Britsh Plastic Federation, "Polyethylene (High Density) HDPE", 2025, disponível em: https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/HDPE.aspx . Acesso em 01 ago. 2025.

28 Sara Ronca, "Polyethylene", *Brydson's Plastics Materials*, 8. ed., pp. 247-278, 2017, cap. 10.

29 Turf pros solution, "Pros and Cons of Polyethylene (PE) and Polypropylene (PP) for artificial grass", *Turf pros solution website*, 2024, disponível em: https://turfprossolution.com/pros-and--cons-of-polyethylene-pe-and-polypropylene-pp-for-artificial-grass/. Acesso em 01 ago. 2025.

países ainda é um desafio. Também, pode-se citar, como outras desvantagens desse material, a sua baixa durabilidade, quando comparado com o náilon, e suscetibilidade ao calor, atingindo altas temperaturas.

Por sinal, a *Football Association*, a mais antiga associação de futebol do planeta, cita o PE em seu guia para gramados artificiais como sendo o polímero mais utilizado nos fios artificiais, mas também informa que é comum utilizar, em conjunto com o PE, o polipropileno e a poliamida, normalmente na forma de uma mistura ou blend[30].

1.4.2 POLIPROPILENO

O polipropileno (PP) é um polímero termoplástico versátil, formado por cadeias lineares de hidrocarbonetos, que é utilizado amplamente para os mais diversos fins, em especial na produção de embalagens plásticas[31]. Ademais, o PP é mais barato e mais leve que o PE, tendo sua instalação facilitada, mas, por outro lado, tem menor resistência e durabilidade, além de não apresentar uma aparência tão realista e atrativa quanto a do PE.

Assim como o PE, o PP também tem sua origem a partir de combustíveis fósseis, sendo produzido com base no propileno obtido do petróleo. Nesse sentido, o impacto ambiental do PP envolve desde o processo de extração do material base, o petróleo bruto, até o descarte do material final.

Algumas empresas chegaram a desenvolver blends que combinam o PE com o PP, agregando as principais qualidades dos dois, isto é, apresentam a maciez e a boa aparência do PE, mas tendo maior leveza e um preço mais baixo. O trabalho de Meshref *et al.*[32], por exemplo, demonstrou a diminuição da carga eletrostática produzida em um campo de PE após a adição de um material contendo PP e poliuretano (PU), algo desejável pois a carga pode danificar o gramado e comprometer a saúde dos atletas.

Além do que já foi exposto, cabe ressaltar que a *Football Association* coloca o PP como o principal material de suporte primário para os gramados sintéticos, o que se deve a sua capacidade de resistir às mudanças de tempo e ao desgaste natural da grama artificial, além de apresentar boa resistência dimensional, dificultando que o carpete ceda ou estique.

---

30 Football Association, "The FA guide to artificial grass pitches", The Football Association, 2010, disponível em: https://www.thefa.com/GetIntoFootball/~/media/94E74AF1897644AC912731E-7617FAFB2.ashx. Acesso em 01 ago. 2025.

31 Lee Tin Sin e Tueen Soo Bee, "Eco-profile of plastics", *Plastics and Sustainability*, p. 45-89, 2023, cap. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824489-0.00010-6

32 Alaa A. Meshref *et al.*, "Reducing the electrostatic charge generated from sliding of rubber on polyethylene artificial turf", *Journal of the Egyptian Society of Tribology*, vol. 20, n. 4, pp.54-64, 2023.

1.4.3 POLIAMIDA OU NÁILON

Dentre as três opções mais populares de polímeros para campos sintéticos, todas apresentadas aqui, o náilon, ou poliamida (PA), é o material com maior resistência e durabilidade. Além disso, o náilon é a opção com maior resistência à radiação UV e ao calor[33].

O termo "náilon" engloba um grupo de compostos termoplásticos: as poliamidas alifáticas. Assim, o náilon é caracterizado pelo grupo amida, englobando um vasto grupo de materiais, como náilon 6.6 e náilon 12. Os principais fatores que determinam o tipo de náilon a ser produzido são o tipo de síntese e os reagentes utilizados.

O método mais usual de síntese do náilon envolve a reação entre uma diamina e um ácido dibásico, produzindo assim um sal de náilon, mas outra rota também utilizada é a que se baseia na abertura de um monômero contendo tanto grupos ácidos, como aminas[34]. O náilon foi o primeiro polímero 100% sintético a ser comercializado em larga escala, tendo sido também o material pioneiro dos gramados artificiais.

Com relação ao quesito impacto ambiental, a PA possui semelhanças com o PP e o PE, ou seja, tem sua origem no petróleo. Ainda, a produção do náilon acaba gerando óxido nitroso, um gás de efeito estufa extremamente potente. Pode-se citar também como pontos negativos o alto custo do náilon, sendo mais caro que o PE e o PP, e a sua característica abrasiva, que gera atrito com a pele dos jogadores, causando a chamada "queimadura de gramado". Por fim, o náilon absorve muita água, o que pode levar a um problema de drenagem em locais com alta taxa pluvial.

A escolha do polímero ideal para a grama sintética do estádio Sintetiza F.C. dependerá de uma análise criteriosa das vantagens e desvantagens de cada solução. Considerando os aspectos econômicos, de desempenho e de sustentabilidade, o PE destaca-se como a melhor opção. Apesar de suas desvantagens ambientais, o PE oferece uma combinação atraente de baixo custo, reciclabilidade e durabilidade adequada para a aplicação em estádios multifuncionais.

O PE é o polímero mais utilizado globalmente, o que garante um processo de produção eficiente e financeiramente viável, atendendo às preocupações de Roberto quanto aos custos do projeto. Além disso, suas boas propriedades me-

33 Charlie Ferer, "Types of artificial grass: nylon, polyethylene, or polypropylene?", *Pradise Green and Turf*, 3 fev. 2021, disponível em: https://www.paradisegreens.com/blog/types-of-artificial-grass/. Acesso em 01 ago. 2025.

34 Sandip Kumar Mukhopadhyay, "Manufacturing, properties and tensile failure of nylon fibres", *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*, pp. 197-222, 2009, cap. 8. https://doi.org/10.1533/9781845696801.2.197

cânicas e resistência ao desgaste fazem do PE uma escolha eficaz para suportar o alto tráfego e a demanda de eventos esportivos e culturais.

Embora o PP e o náilon também tenham suas vantagens, como maior resistência térmica e durabilidade, o custo mais elevado do náilon e a rigidez do PP tornam essas opções menos recomendáveis para equilibrar a necessidade de desempenho e viabilidade financeira. Assim, o PE é a solução que melhor equilibra os desafios técnicos e econômicos, atendendo às expectativas de todos os *stakeholders* envolvidos no projeto.

Por fim, vale ressaltar, conforme mencionado anteriormente, que o PP e o PE podem ser combinados, formando um material híbrido capaz de apresentar as vantagens dos dois polímeros de origem combinadas.

1.5 PARA SABER MAIS

1.5.1 GRAMA NATURAL VS. GRAMA SINTÉTICA: QUAL É A MELHOR OPÇÃO PARA OS ESTÁDIOS[35]

O artigo traça uma comparação entre grama natural e sintética para estádios esportivos, abordando aspectos como custo de manutenção, desempenho esportivo dos atletas, impacto ambiental e satisfação dos usuários. No geral o embate pode ser resumido como a escolha entre economia e performance do gramado sintético e o menor impacto ambiental e preservação dos atletas com uso da grama natural.

1.5.2 QUÍMICA E FUTEBOL: A CIÊNCIA DE UMA PAIXÃO[36]

O artigo relata a aplicação de uma atividade didática pautada na abordagem de conteúdos de química no ensino médio por meio de uma contextualização envolvendo futebol, isto é, estabelece relações entre química e futebol. Dentre os temas discutidos, estão os materiais com os quais são feitas as redes, as bolas e os gramados, com destaque para diversos polímeros e suas propriedades químicas.

35 Avaetê de Lunetta e Rodrigues Guerra *et al.*, "Grama natural vs. grama sintética: qual é a melhor opção para os estádios", *Revista Acadêmica da Lusofonia*, vol. 1, n. 3, 2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.13826563

36 Flávia Maria Rocha Melo *et al.*, "Química e futebol: a ciência de uma paixão", *Experiências em Ensino de Ciências,* vol. 15, n. 2, pp. 707-725, 2020.

CAPÍTULO 2

ESTUDO DE CASO: **INFLANDO O PERIGO**

CAIO MORALEZ DE FIGUEIREDO[1]
RENATA ALMEIDA CHAGAS[2]

O celular de Peter toca às 4h27 da manhã: "trin-trin, trin-trin".

– Desliga essa porcaria, Peter! Vai acordar as crianças! – exclama Nina, sua esposa, com um tom de preocupação.

– Desculpe, querida, mas é do trabalho e eu preciso atender – explica Peter, já se levantando da cama e saindo do quarto.

Nina permanece em silêncio, tentando ouvir a conversa de Peter, mas escuta apenas alguns murmurinhos. Ela força a audição na tentativa de captar algo relevante, quando Peter entra de volta no quarto.

– Você tem que ir, não é mesmo? – indaga Nina.

– Você sabe como é, quando o departamento forense liga, eu tenho que atender. Houve um acidente de trânsito e o motorista foi socorrido com um ferimento que parecia provocado por arma de fogo. Eles me pediram para investigar.

– Estou indo. Não espere por mim acordada! – diz Peter, em tom descontraído, enquanto sai de casa e entra em seu carro.

Pedro, que todos chamam de Peter desde a infância, é um perito forense recém-contratado. Ele e sua família ainda estão adaptando-se a essa nova rotina, na qual, nos dias de plantão, Peter deve ficar disponível para atender a chamados de emergência, independentemente do horário. A ocorrência de hoje é um acidente de trânsito e o motorista foi socorrido com um ferimento perto do pescoço.

Ao chegar à cena do acidente, Peter encontrou um carro que se chocou em um poste, uma ambulância saindo em alta velocidade com a sirene ligada, e algumas pessoas ao redor do carro. Ele se aproxima de uma pessoa uniformizada.

– Podem fornecer para mim detalhes sobre o acidente ocorrido? – pergunta Peter à equipe que prestou os primeiros atendimentos no local.

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

2 Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo e docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.

– O ferimento do motorista é bem estranho. Parecia provocado por arma de fogo, mas havia algumas inconsistências – explica o socorrista. – É por isso que te chamaram! Para tentar descobrir o que aconteceu. Parece que o motorista não corre risco de vida, mas passará por uma cirurgia de difícil recuperação.

Intrigado com o caso, Peter inicia sua investigação no carro deixado ao lado da rua, que tem uma de suas rodas dianteiras sobre a calçada e chocou-se com o poste bem no meio do para-choque. O que chamou sua atenção é que foi um choque leve, danificando pouco o carro. Ele realiza um teste com luminol para identificar a presença de sangue e usa uma lanterna ultravioleta (lanterna UV) para verificar a presença de pólvora, observando cada detalhe dentro e fora do veículo. Não havia sinais de uso de arma de fogo ou confronto e o carro estava em perfeitas condições, exceto por duas peças: o para-choque que estava com um pequeno amassado e o airbag, que havia sido disparado.

– O airbag é a única coisa estranha nesse incidente – reflete Peter. – Pessoal, precisamos levar o volante para o laboratório. O resto pode ser recolhido e a rua liberada.

Mais tarde, no laboratório, Peter e sua equipe de peritos estudam e realizam diferentes testes com o airbag do carro. Eles identificam diversas partes de metal, como parafusos e presilhas de segurança corroídas e quebradas.

– Peter! Peter! Os resultados da análise cromatográfica saíram. Realmente, a substância utilizada como propelente neste airbag é o nitrato de amônio – informa Nerilson, o técnico do laboratório.

– Ao que tudo indica, o motorista acabou se chocando no poste, que, mesmo em baixa velocidade, acionou o airbag. Este continha o nitrato de amônio de forma a produzir uma explosão tão forte que lançou fragmentos de metal em direção ao motorista, ferindo-o no pescoço – explica Niege, especialista em explosivos.

– Exatamente – confirma Peter. – O nitrato de amônio é um composto muito instável e se degrada facilmente, podendo formar produtos corrosivos e explosivos, transformando o airbag em uma bomba-relógio. Porém, para nosso laudo ficar completo, precisamos confirmar a periculosidade do nitrato de amônio e elencar substituições viáveis para que a montadora do airbag seja incentivada a alterar seu propelente.

Como químico forense da equipe de Peter, elabore o trecho de um laudo que identifique substituições possíveis ao nitrato de amônio e argumente a favor de uma delas, considerando fatores como estabilidade, segurança e custo.

2.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso apresentado descreve uma situação real, exigindo reflexão e discussão por parte dos estudantes ao confrontá-los com um problema autêntico. Esse processo não só favorece a aquisição de conhecimentos científicos e tecnológicos relacionados ao uso e funcionamento dos airbags, como também estimula o desenvolvimento do pensamento crítico e da tomada de decisão. O caso propõe um conflito acerca do propelente utilizado nos airbags, desafiando os leitores a buscar soluções. Na prática, os estudantes enfrentarão contextos complexos, nos quais informações, opiniões e valores podem estar em desacordo. Essas características demandam uma análise das circunstâncias e a elaboração de possíveis soluções dentro do cenário específico.

A narrativa permite explorar os diferentes aspectos do uso da tecnologia na contribuição da melhoria na qualidade de vida das pessoas, além de seus riscos e a necessidade do constante aprimoramento. O airbag é um item de segurança que teve seu conceito criado na década de 1950, é obrigatório na fabricação de carros no Brasil desde 2014 e apresenta notável redução na mortalidade em acidentes de trânsito[3].

O problema central da narrativa reside na degradação da substância nitrato de amônio (NH_4NO_3) em subprodutos oxidantes e explosivos, que comprometem a integridade estrutural do airbag e, ao serem acionados, podem gerar uma explosão violenta, ferindo o motorista e demais passageiros. Assim, deve-se buscar possíveis substitutos para esta substância de forma a não comprometer o funcionamento e eficiência dos airbags. Há alternativas já implementadas comercialmente[4], mas o caso também permite que se proponha o uso de outras substâncias que gerem um gás inerte.

O tema abordado na narrativa está diretamente relacionado à cinética química, uma vez que o funcionamento do airbag depende de uma reação que produza um gás inerte, usualmente o N_2. A geração desse gás deve ocorrer em frações de segundo para garantir que a bolsa do airbag infle antes que o passageiro colida com o interior do carro. Nesse contexto, o estudo da velocidade dessas reações, bem como a utilização de modelos teóricos para prever a velocidade das reações de diferentes compostos, torna-se essencial[5].

---

3 Fernanda Wilhelm e Ricardo Litizia Garcia, "Equipamentos de segurança veicular: uma análise da legislação brasileira", *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, vol. 4, n. 2, pp. 283-298, 2018. https://doi.org/10.21674/2448-0479.42.283-298

4 Guruvaiah Jeyabalaganesh *et al.,* "Evaluation on substitution of conventional azide based fuel materials with an alternate one in na airbag system: a review", *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, n. 19, pp. 9544-9549, 2021. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.071

5 Surendran Lathika Aravind *et al.,* "Thermo-kinetic studies of NaN_3/KNO_3 air bag gas generant mixture", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 136, pp. 2138-2193, 2019. https://doi.org/10.1007/s10973-018-7838-y

A narrativa também aborda temas como a estabilidade e a reatividade dos compostos, considerando que o principal problema no uso do nitrato de amônio é sua decomposição. Essa decomposição pode ser desencadeada pelo contato com oxigênio e pelas altas temperaturas no interior de um carro, gerando subprodutos reativos. Ademais, o gás produzido para inflar a bolsa deve apresentar baixa reatividade, de modo a evitar que, ao entrar em contato com o oxigênio ou com os próprios reagentes, desencadeie uma nova reação explosiva. Desse modo, este caso permite que sejam explorados conteúdos clássicos do ensino de química, como cinética, reatividade e estabilidade de compostos. Além de ser possível tratar também da química do nitrogênio, especialmente sobre a inércia do gás nitrogênio e a reatividade explosiva de compostos nitrogenados[6], como o nitrato de amônio. Assim, no ensino superior, pode-se aplicar o caso nos componentes curriculares Cinética Química, Química Inorgânica e Química Geral.

O caso também possui aplicação no ensino médio, já que os conteúdos clássicos da química descritos acima são abordados neste nível de ensino, compondo o conjunto de estudos que fazem parte das Competências Específicas 1 da área de ciências da natureza e suas tecnologias da Base Nacional Comum Curricular (BNCC)[7]. A BNCC enfatiza que o ensino deve ir além do aprendizado de conceitos científicos, promovendo a contextualização histórica, social, ambiental e cultural desses conhecimentos. Em consonância, o uso de estudos de caso desenvolve habilidades relacionadas à investigação científica, como identificar problemas, testar hipóteses e comunicar resultados, além de estimular o protagonismo dos estudantes[8].

2.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O caso em discussão segue os critérios definidos por Herreid *et al.*[9] para caracterizar um bom caso. A narrativa é curta, ocupando apenas uma página e meia, o que favorece sua aplicação em sala de aula. Foi escrita de forma a criar suspense em torno do conflito central (o que poderia ter causado um acidente tão peculiar?), despertando a curiosidade e mantendo o interesse do leitor. A pre-

6 Dheeraj Kumar e Anil Elias, "The explosive chemistry of nitrogen", *Resonance: Journal of Science Education*, vol. 24, pp. 1253-1271, 2019. https://doi.org/10.1007/s12045-019-0893-2

7 Brasil, Ministério da Educação, "Base Nacional Comum Curricular", disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em 01 ago. 2025.

8 Salete Linhares Queiroz e Carolina Sotério (orgs.), *Estudos de caso: abordagem para o ensino de química*, São Carlos, Diagrama Editorial, 2023.

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.

sença de um conflito, elemento essencial de um bom caso, é evidenciada pelo acidente intrigante que suscita questionamentos para Peter e sua equipe. Ademais, o fato do airbag — um dispositivo projetado para aumentar a segurança — ser o causador do acidente, pode gerar sentimentos conflitantes no leitor, incentivando-o a buscar soluções.

A narrativa conta uma história com personagens que promovem empatia, outro aspecto de um bom caso. Os diálogos entre os personagens são escritos de forma simples e universal, facilitando a compreensão por um público amplo. O protagonista desperta empatia por enfrentar desafios comuns, como conciliar a vida familiar com um novo emprego que exige a sua saída de casa no meio da madrugada. Além disso, o tema investigado no caso também é capaz de gerar conexão emocional com o leitor, pois aborda um problema real amplamente divulgado na mídia e relacionado ao cotidiano, aproximando-o da história.

O problema central está definido: identificar substâncias capazes de substituir o nitrato de amônio como propelente no deflagrador do airbag. Por isso, o caso é classificado como estruturado[10], apresentando de forma clara o desafio a ser solucionado e permitindo a consideração de múltiplas alternativas. Dessa forma, o caso apresenta utilidade pedagógica, pois possibilita o aprofundamento em temas como reações químicas, características e estabilidade de compostos, e cinética química, além de promover discussões que integram química, tecnologia e sociedade.

Por fim, o caso aborda um tema atual, o que atende ao último aspecto proposto para um bom caso. Uma notícia publicada 25 de agosto de 2024[11] revelou que, até aquela data, sete pessoas no Brasil haviam morrido em decorrência da explosão de airbags defeituosos. Segundo a Secretaria Nacional do Consumidor, aproximadamente 2,6 milhões de carros equipados com airbags da fornecedora Takata ainda circulam no país[12]. O problema está nos deflagradores, que podem explodir violentamente ao serem acionados, espalhando estilhaços de metal a alta velocidade e causando ferimentos graves ou até fatais. Esses equipamentos foram instalados em veículos de 17 montadoras entre 2001 e 2018.

---

10 Luciana Passos Sá, Ana Cláudia Kasseboehmer e Salete Linhares Queiroz, "Casos investigativos de caráter sociocientífico: aplicação no ensino superior de Química", *Educación Química*, vol. 24, n. extraordinário 2, pp. 522-528, 2013. https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72523-0

11 Henrique Rodrigues, "Brasil ainda tem quase 25 milhões de carros em recall de airbags mortais", *Quatro Rodas*, 25 ago. 2024, disponível em: https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/brasil-ainda-tem-quase-25-milhoes-de-carros-em-recall-de-airbags-mortais. Acesso em 01 ago. 2025.

12 Brasil, "Senacon alerta para recall de mais de 30 mil veículos", disponível em: https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/noticias/senacon-alerta-para-recall-de-mais-de-30-mil-veiculos, 23 dez. 2012. Acesso em 01 ago. 2025.

Para inflar o airbag, a Takata utilizava nitrato de amônio, um composto que, ao longo do tempo, em contato com calor e umidade, torna-se altamente explosivo e pode corroer partes metálicas do dispositivo. Como consequência, no momento da ativação, fragmentos do equipamento são projetados para o interior do veículo[13].

O defeito afetou cerca de 100 milhões de carros em todo o mundo, sendo aproximadamente 5,9 milhões vendidos no Brasil. Um recall iniciado há mais de uma década abrangeu 3,3 milhões de veículos reparados, mas muitos ainda permanecem sem correção. O caso é considerado o maior recall da história da indústria automobilística. A Takata, responsável pelos dispositivos, declarou falência quatro anos após a identificação do problema e foi condenada a pagar mais de 1 bilhão de dólares em multas nos Estados Unidos, onde mais de 20 milhões de carros com airbags defeituosos foram comercializados, conforme a agência federal de segurança automobilística do país[14].

2.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

Em reportagem do Portal G1[15], publicada em 25 de agosto de 2024, é relatado que quase 2,5 milhões de carros estão circulando no país com airbags defeituosos. A matéria traz o problema do uso do nitrato de amônio nos deflagradores produzidos pela empresa Takata. Além disso, são relatados dois casos de acidentes com mortes, ambos relacionados à explosão dos airbags. No final do artigo, é disponibilizado um link do site da Secretaria Nacional de Trânsito, em que é possível checar se um veículo precisa do recall por causa do airbag.

Uma segunda reportagem da CNN[16], publicada em 28 de agosto de 2024, semelhantemente à anterior, relata a quantidade de carros com airbags defeituosos da fornecedora Takata em circulação no Brasil. O artigo ressalta que o problema

13 David C. Viano, "History of airbag safety benefits and risks", *Traffic Injury Prevention*, vol. 25, n. 3, pp. 268-287, 2024. https://doi.org/10.1080/15389588.2024.2315889

14 Veja Negócios, "Fabricante de airbags defeituosos Takata declara falência", 26 jun. 2017, disponível em: https://veja.abril.com.br/economia/fabricante-de-airbags-defeituosos-takata-declara-falencia/. Acesso em 01 ago. 2025.

15 Fantástico, "Quase 25 milhões de carros estão circulando no país com airbags defeituosos", *G1*, 25 ago. 2024, disponível em: https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2024/08/25/quase-25-milhoes-de-carros-estao-circulando-no-pais-com-airbags-defeituosos.ghtml. Acesso em 01 ago. 2025..

16 Guilherme Machado, "Airbags com defeito perigoso estão presentes em 26 milhões de carros no Brasil", *CNN Brasil*, 28 set. 2024, disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/auto/airbags-com-defeito-perigoso-estao-presentes-em-26-milhoes-de-carros-no-brasil/. Acesso em 01 ago. 2025.

dos airbags está nos seus deflagradores, que, ao explodirem, podem espalhar estilhaços de metal a uma alta velocidade, ferindo gravemente ou até causando a morte de quem estiver no carro. No final do artigo, também são disponibilizados links, tanto do site da Secretaria Nacional de Trânsito, quanto dos fabricantes de veículos, com informações referentes a recalls.

2.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

São apresentadas três soluções para o caso, sendo que duas são alternativas implementadas comercialmente para a substituição do nitrato de amônio e a terceira pode ser considerada viável e amplia as possibilidades de uso do caso no ensino médio.

2.4.1 SUBSTITUIÇÃO DO NITRATO DE AMÔNIO PELA AZIDA DE SÓDIO

Os airbags são bolsas feitas de um material bastante resistente, geralmente o polímero nylon. No interior da bolsa há uma mistura de reagentes, azoteto de sódio (NaN_3), nitrato de potássio (KNO_3) e dióxido de silício (SiO_2). O azoteto de sódio, também chamado de azida de sódio, é uma substância instável, que, quando é aquecida ou exposta a uma faísca elétrica, se decompõe formando uma grande quantidade de gás nitrogênio, que infla o airbag, e sódio metálico. Como o sódio metálico é muito reativo, adiciona-se o nitrato de potássio para inativá-lo, produzindo óxido de sódio, óxido de potássio e mais nitrogênio, que ajuda a inflar ainda mais o airbag. Essas reações são representadas pelas Equações 1 e 2[17].

$$2\ NaN_3(s) \rightarrow 2\ Na(s) + 3\ N_2(g) \qquad \text{(Equação 1)}$$

$$10\ Na\ (s) + 2\ KNO_3\ (s) \rightarrow K_2O\ (s) + 5\ Na_2O\ (s) + N_2\ (g) \qquad \text{(Equação 2)}$$

Os óxidos produzidos na Equação 2 reagem com a sílica, uma substância que também é adicionada ao airbag para produzir um vidro alcalino, o que reduz os riscos de contaminações e ferimentos ocasionados pelos vazamentos dessas subs-

17 Andreas Madlung, "The chemistry behind the air bag: high tech in first-year chemistry", *Journal of Chemical Education*, vol. 73, n. 4, pp. 347-348, 1996. https://doi.org/10.1021/ed073p347

tâncias químicas. Depois disso, o airbag é esvaziado através de furos existentes na parte de trás ou lateral da bolsa e, à medida que esvazia, também absorve o impacto do corpo. Todas essas reações ocorrem em frações de segundo, demorando apenas 0,003 segundos para inflar totalmente a bolsa[18].

Um problema já identificado com o uso da azida de sódio é seu elevado potencial de contaminação ambiental, apontando para novos desafios em relação à sua produção, armazenamento e descarte[19].

2.4.2 SUBSTITUIÇÃO DO NITRATO DE AMÔNIO PELO NITRATO DE GUANIDINA

Dentre as propriedades desejáveis dos geradores de gás em propelentes, destacam-se a produção rápida e abundante de gás, as baixas temperaturas de combustão e a geração de subprodutos de baixa toxicidade. O nitrato de guanidina faz parte da nova geração de propelentes[20], pois, além de atender a esses requisitos, apresenta menor risco ambiental no descarte de airbags. Estudos indicam que o nitrato de guanidina reduz sua reatividade à medida que se degrada na presença de água[21], o que favorece seu uso devido ao menor impacto ambiental no descarte de airbags já deflagrados ou inutilizados que ainda contenham traços dessa substância.

A reação química do nitrato de guanidina no airbag é a decomposição do composto, que produz uma grande quantidade de gás (Equação 3)[22]. A equação química para a decomposição do nitrato de guanidina é:

$$(CH_6N_3)NO_3\,(s) \rightarrow 3\,H_2O\,(l) + 2\,N_2\,(g) + 1\,C\,(s) \qquad \text{(Equação 3)}$$

Atualmente, o nitrato de guanidina é o mais usado nos deflagradores de carros novos. Para aumentar a velocidade da geração do gás, pode-se utilizar, junta-

18 Joseph S. Merola, "How do air bags work?", *Scientific American*, 25 out. 1999, disponível em: https://www.scientificamerican.com/article/how-do-air-bags-work/. Acesso em 01 ago. 2025.

19 John Tat *et al.*, "Sodium azide poisoning: a narrative review", *Clinical Toxicology*, vol. 59, n. 8, pp. 683-697, 2021. https://doi.org/10.1080/15563650.2021.1906888

20 Andrew J. Tykol *et al.*, "Burning rate characterization of guanidine nitrate and basic copper nitrate gas generants with metal oxide additives", *Combustion Science and Technology*, vol.194, n.16, pp. 3390-3407, 2022. https://doi.org/10.1080/00102202.2021.1928093

21 Mieko Kumasaki *et al.,* "Degradation of guanidine nitrate upon exposure to nitrogen oxide gases", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 147, pp. 14155-14161, 2022. https://doi.org/10.1007/s10973-022-11713-w

22 Abdullah Ulas, Grant Alexander Risha e Kenneth K. Kuo, "Ballistic properties and burning behaviour of an ammonium perchlorate/guanidine nitrate/sodium nitrate airbag solid propellant", *Fuel*, vol. 85, n. 14, pp. 1979-1986, 2006. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.03.026

mente com o propelente, uma mistura com um agente oxidante, podendo ser Al_2O_3, CeO_2, TiO_2 ou o mais utilizado comercialmente, nitrato básico de cobre ($Cu_2(NO_3)(OH)_3$)[23].

2.4.3 SUBSTITUIÇÃO DO NITRATO DE AMÔNIO POR REAÇÃO QUE PRODUZ GÁS CARBÔNICO

Apesar das aplicações atuais de propelentes estarem voltadas ao uso de nitrato de amônio, azida de sódio e nitrato de guanidina para a geração rápida de gás N_2, no contexto didático, especialmente no ensino médio, os alunos podem sugerir outras reações químicas que produzam gases inertes para inflar o airbag, como o gás carbônico (CO_2). O gás carbônico está presente no cotidiano das pessoas e, por isso, é amplamente discutido nas escolas, além de ser produzido por diferentes reações que podem ser exploradas em contextos didáticos de fácil execução[24].

O CO_2 pode ser produzido em reações de combustão, fermentação de açúcares, decomposição térmica e reações entre ácidos e carbonatos ou bicarbonatos. A reação específica representada pela Equação 4, entre o bicarbonato de sódio e o ácido acético, é de especial interesse, pois seu uso é relatado em diversas práticas[25] e aplicado na Mostra Brasileira de Foguetes, uma feira científica consolidada que ocorre anualmente e é promovida pela Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica[26]. No ensino médio, os estudantes devem montar foguetes propulsados pela reação representada na Equação 4[27].

$$NaHCO_3\,(s) + CH_3COOH\,(aq) \rightarrow CH_3COONa\,(aq) + H_2O\,(l) + CO_2\,(g) \quad \text{(Equação 4)}$$

23 Yu-ichiro Izato *et al.,* "Analyses of the thermal characteristics and gaseous products of guanidine nitrate/basic copper nitrate mixtures using calorimetry with high resolution mass spectrometry", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 151, 104918, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104918

24 Renato Nunes de Andrade *et al.,* "Obtenção de gás carbônico no ensino médio: uma prática experimental para debater o tema aquecimento global", *Ensino de Ciências e Matemática*, vol. 3, n. 2, pp. 26-33, 2013. https://doi.org/10.36524/dect.v3i02.56

25 Brenda Tavella Oliveira, Daniel Pereira do Prado Dias e Maria Inês de Affonseca Jardim, "Proposta de roteiros experimentais sobre o conteúdo de cinética química, subsidiados pelas concepções empiristas-indutivistas e ensino investigativo", *Scientia Naturalis*, vol. 3, n. 3, pp. 1413-1468, 2021. https://doi.org/10.29327/269504.3.3-36

26 Lucas Freitas Teodosio *et al.*, "Ensino de ciências através da Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG)", *Caderno de Física da UEFS*, vol. 20, n. 2, 2502, 2022. https://doi.org/10.13102/cadfsuefs.v20i02.9305

27 Luiz Antônio Tavares de Oliveira, Patrícia Freitas Moraes e Leandro Braga Silva Junior, "Foguete com propulsão de bicarbonato de sódio e ácido etanoico: relato de experiência", *Nexus: Revista de Extensão da IFAM*, vol. 3, n. 1, pp. 71-78, 2017.

Apesar desta reação não ser utilizada nos deflagradores de airbag, ela é uma solução válida, quanto a responder o caso, assim como pode atuar como um ponto de partida ou ampliar discussões sobre compostos e cinética química no contexto do ensino médio.

2.5 PARA SABER MAIS

2.5.1 A QUÍMICA POR DENTRO DO AIRBAG[28]

A reportagem explica o funcionamento dos airbags nos automóveis, de forma didática e com linguagem acessível. Em caso de colisão, o sensor detecta a desaceleração brusca e ativa uma resistência elétrica que aquece uma mistura de azida de sódio, nitrato de potássio e dióxido de silício a aproximadamente 300°C. O aquecimento provoca a decomposição da azida de sódio, liberando nitrogênio gasoso que infla rapidamente a bolsa, protegendo os ocupantes do veículo. Após cumprir sua função, o airbag esvazia garantindo a segurança dos passageiros. O artigo também esclarece que o pó branco liberado após a ativação do airbag é inofensivo, sendo composto de amido ou talco, usados para preservar a bolsa durante o armazenamento.

2.5.2 REAÇÕES RÁPIDAS: A QUÍMICA DE UM AIRBAG E A EXPLOSÃO DO TNT[29]

O livro "Ciência Viva: Química", de Eduardo F. Mortimer, Andréa H. Machado e Alfredo Mateus, aprovado pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio no período de 2026 a 2029, favorece uma abordagem contextualizada da química, utilizando textos sobre fenômenos cotidianos e atividades experimentais de fácil implementação. A Unidade 6 é dedicada à cinética química e contém uma descrição sobre o funcionamento do airbag, as principais reações que ocorrem e legislações brasileira sobre sua obrigatoriedade nos carros.

28 No laboratório do Sr. Q., "A Química por dentro do airbag", *Ciência Hoje das Crianças*, disponível em: https://chc.org.br/coluna/a-quimica-por-dentro-do-airbag/. Acesso em 01 ago. 2025.

29 Eduardo Fleury Mortimer, Andréa Horta Machado e Alfredo Mateus, *Ciência viva: química*, volume único, São Paulo, Scipione, 2024, disponível em: https://www.edocente.com.br/pnld/obra/leitor/ciencia-viva-quimica-pnld-ensino-medio-2026/?obraId=13731 . Acesso em 01 ago. 2025.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO: **AGROTÓXICOS, DO USO AO ABUSO**

KLEYTON JUNIOR GOMES DE MORAIS[1]
MATHEUS GOTHA[2]
RAFAEL CAVA MORI[3]

O Senhor Sem-Floresta cultiva vegetais e grãos em uma extensa propriedade, em Aripuanã, pequena cidade do interior do Mato Grosso. Defensor do uso de agrotóxicos para obter colheitas mais abundantes, sempre foi conhecido por seus bordões, que pregava ao contemplar seus frutos, brilhantes como bolas de boliche recém-polidas:

– Lucro acima de tudo!

A chegada do pesticida fipronil ao mercado, com a promessa de incrementar ainda mais as produções, entusiasmou o Senhor Sem-Floresta. Mas, dada a dimensão de seu latifúndio, a aplicação da substância demandaria muito tempo se feita pelo método convencional, com um trator pulverizador. Assim, visando acelerar o processo, o proprietário ordenou que seus empregados utilizassem seu aeroplano:

– *Pra* jogar o pesticida, só com avião! Tempo é dinheiro! – bufou, encerrando com mais um bordão.

– Mas, senhor... por acaso, a pulverização aérea não é proibida? – questionou, como que pisando em ovos, um de seus funcionários.

– Ninguém vai ficar sabendo. Pode confiar! – exclamou o fazendeiro, impassível.

Ocorre que, nas proximidades das terras do Senhor Sem-Floresta, há uma reserva ambiental, detentora de uma grande biodiversidade de vegetação e de animais silvestres. E, depois de algumas semanas, enquanto a vida florescia na

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 Docente na Universidade Federal do ABC.

plantação, na reserva, definhava – inclusive, tendo morrido dois cervos, após pastarem próximo à divisa.

Não demorou para que o Senhor Sem-Floresta se tornasse alvo das autoridades ambientais. Estas, inspecionando a fazenda, confirmaram que o uso excessivo de pesticidas e a aplicação ilegal por via aérea levaram à contaminação de parte do solo da reserva.

– O senhor tem noção do estrago que fez? – indagou o agente do órgão ambiental.

Respondeu o fazendeiro em tom zombeteiro:

– Não tenho culpa de nada, tá ok?

Mas a punição foi severa: uma grande multa e a notificação sobre a necessidade de reversão dos danos causados à área de proteção ambiental. Diante da pressão governamental e, principalmente, da insatisfação popular (afinal, a notícia logo se espalhou entre os camponeses), o homem, ainda que relutantemente, decidiu agir. Para resolver seus problemas, ele contratou dois químicos, Doutora Flora e Doutor Fauna, especialistas em agricultura sustentável e remediação ambiental.

Colocando-se no lugar dos químicos contratados, proponha ao Senhor Sem-Floresta maneiras de reverter a contaminação causada à reserva ambiental, argumentando a favor de uma delas.

3.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso aproxima os alunos de um tema relevante, as consequências ecológicas do uso descontrolado de produtos químicos nas lavouras, especialmente quando elas estão próximas a áreas protegidas. Favorece, também, a discussão sobre a busca de uma agricultura mais sustentável, com menores impactos ao meio, promovendo um debate sobre o papel das normas legais e da fiscalização na mitigação de danos ambientais.

Especificamente, o caso abrange a contaminação ambiental pelo pesticida fipronil ($C_{12}H_4Cl_2F_6N_4OS$), pertencente à família dos fenilpirazóis e sendo ingrediente ativo de vários agrotóxicos[4]. Essa substância tem sido largamente utilizada na agricultura para o controle de insetos como formigas, pulgas, carrapatos,

4 Renan do Carmo Marinho Silva, Priscila Aparecida Della Torre e Janara de Camargo Matos, "O uso incorreto do inseticida fipronil e sua influência na morte das abelhas no sul do Brasil", *Processando o Saber*, vol. 13, pp. 93-110, 2021. https://zenodo.org/records/15066810

cupins e besouros, matando-os ao interferir em seu sistema nervoso central[5]. Por sua alta persistência no ambiente, os pesticidas apresentam elevado potencial de contaminar ecossistemas próximos às áreas de cultivo, como as reservas ambientais, não sendo diferente com o fipronil. A contaminação relatada no estudo de caso afeta também a fauna, pois, embora seja muito mais tóxico para insetos do que para mamíferos, deve-se evitar a exposição prolongada ou demasiada desses animais à substância[6]. Afinal, o contato direto do inseticida com a pele e os olhos pode acarretar irritações, e sua ingestão pode provocar náusea, vômito, dor de cabeça, fraqueza e convulsões. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos classifica o fipronil como um possível carcinógeno, com base em estudos que observaram o desenvolvimento de tumores na tireoide de ratos.

Desde 2023, a aplicação de fipronil por pulverização foliar em área total foi suspensa pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, permitindo-se apenas a aplicação em solo ou diretamente nas plantas[7]. Apesar da proibição, acredita-se que a pulverização aérea do pesticida ainda ocorra, o que pode levar à morte de insetos polinizadores, à contaminação de reservas ambientais e à diminuição da biodiversidade. Outros países, como Colômbia, Uruguai, Costa Rica, Vietnã, África do Sul e toda a União Europeia, baniram o uso da substância, que está proibida apenas em alguns estados brasileiros. Entretanto, em uma audiência pública na Câmara dos Deputados, foi proposto o Projeto de Lei n. 4.592/2023, que dispõe sobre a proibição de aplicação foliar do princípio ativo fipronil em todo território nacional[8]. A discussão prossegue no Parlamento brasileiro e, embora não se possa prever seu desfecho, é fato que o uso dos agrotóxicos com base no fipronil mostra-se cada vez mais criticado e desincentivado, estando mais próximo de uma possível proibição.

O emprego de casos investigativos no ensino está associado à chamada Aprendizagem Baseada em Problemas, estratégia que busca envolver os alunos de modo a que se apropriem do conhecimento a partir de reflexões coletivas, enquanto lidam com problemas complexos e autênticos. Em realidade, este caso pode ser classificado como uma forma de *well-structured problem* ("problema

5 National Pesticide Information Center, "Fipronil general fact sheet", *National Pesticide Information Center*, disponível em: https://npic.orst.edu/factsheets/fipronil.html. Acesso em 13 ago. 2025.

6 Hyllana Caterine Dias de Medeiros, "Efeitos do fipronil sobre o metabolismo energético no fígado perfundido de rato", dissertação de mestrado, Araçatuba, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2014.

7 Brasil, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, "Ibama suspende cautelarmente aplicação de agrotóxicos à base de fipronil", 2 jan. 2024, disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2024/ibama-suspende-cautelarmente-aplicacao-de-agrotoxicos-a-base-de-fipronil. Acesso em 13 ago. 2025.

8 Brasil, Câmara dos Deputados, "Projeto de lei nº 4592/2023", disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2331307. Acesso em 13 ago. 2025.

bem-estruturado")[9], pela maneira como direciona o estudante à resolução, mas sem que apresente uma única resposta correta.

Considerando que o caso está relacionado com a área da toxicologia, ele pode ter lugar entre as atividades de diversos componentes curriculares de cursos de graduação, não só de química, mas também de áreas próximas, como engenharias química, ambiental e agronômica. Na graduação em química ou engenharia química, principalmente em cursos que possibilitam a ênfase em química ambiental, o caso pode ser aplicado em componentes curriculares como Química Ambiental, Química do Solo, Ecotoxicologia ou Toxicologia Ambiental e Poluentes Químicos ou Poluentes Ambientais. Na engenharia ambiental, há cursos que ofertam o componente Recuperação de Áreas Degradadas, também muito propício ao estudo deste caso, assim como Química e Fertilidade do Solo, presente em matrizes curriculares da engenharia agronômica.

Não se deve ignorar que, diante de novas diretrizes curriculares nacionais para cursos de graduação, muitas instituições implementaram a curricularização da extensão, levando ao surgimento de componentes que, ao fomentarem uma relação comunicativa com a comunidade externa àquela da instituição de educação superior, também podem propiciar a aplicação do caso, inclusive de forma prática e emancipatória[10]. A Universidade Federal do ABC, por exemplo, atualmente oferta o componente curricular Práticas de Agroecologia: De(s)colonizando Saberes sobre Manejo e Cultivo em Solos Tropicais, para os cursos de licenciatura em educação do campo, licenciatura em história e licenciatura em ciências humanas, mas passível de receber graduandos em química e engenharia. Esse componente tem como objetivo problematizar as vertentes hegemônicas da produção agrícola, notadamente, aquelas relacionadas ao agronegócio, instrumentalizando os estudantes a criarem intervenções ético-políticas baseadas no paradigma agroecológico, alternativamente à produção da agricultura industrial. Ora, sendo essa produção fortemente baseada no latifúndio, na mecanização, na transgenia e nos agrotóxicos[11], fica evidente a pertinência deste caso também nesse contexto.

9 Luciana Passos Sá, Ana Cláudia Kasseboehmer e Salete Linhares Queiroz, "Casos investigativos de caráter sociocientífico: aplicação no ensino superior de Química", *Educación Química*, vol. 24, n. extraordinário 2, pp. 522-528, 2013. https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72523-0

10 Paulo Freire, *Extensão ou comunicação?*, Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1977.

11 Roseli Salete Caldart, Isabel Brasil Pereira, Paulo Alentejano e Gaudêncio Frigotto (orgs.), *Dicionário da educação do campo*, Rio de Janeiro/São Paulo, Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/Expressão Popular, 2012.

Ressalta-se que habilidades e atitudes passíveis de desenvolvimento a partir da aplicação do caso vão plenamente ao encontro do preconizado nas atuais Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química[12].

3.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Existem alguns critérios que, uma vez cumpridos, caracterizam um bom caso, conforme Herreid *et al.*[13] O mais importante dos critérios diz respeito ao desenvolvimento de pensamento crítico. Assim, o caso foi estruturado de forma a fomentar discussões em sala de aula, colocando os alunos no lugar dos químicos contratados para reverter os danos causados pelo pesticida. Então, os alunos são desafiados não só a resolver o problema, mas também a argumentar a favor de suas soluções. Esse exercício abre espaço para o debate e o desenvolvimento da criticidade.

O segundo fator essencial para a caracterização de um bom caso diz respeito aos próprios aspectos narrativos, sendo importante que, para os alunos, a história seja atrativa e sucinta. Como o caso apresenta elementos que despertam a empatia – expondo os problemas ambientais causados pela ganância de um fazendeiro – os estudantes são convidados a buscar não apenas soluções técnicas, mas também a considerar aspectos éticos e humanísticos em suas decisões. Ademais, a história também conta com elementos de fluidez, apresentando uma narrativa simples e a inserção de falas, que a dinamizam.

O terceiro critério é a relevância do problema proposto para o público-alvo do caso. Como já afirmado na seção anterior, a narrativa abrange uma questão ambiental e, nos cursos de química, as próprias diretrizes curriculares tratam de valorizá-la e de tomá-la como elemento imprescindível e transversal às matrizes curriculares. Em muitos desses cursos, a química ambiental se materializa inclusive como componente curricular, tanto no bacharelado, quanto na licenciatura – e, assim, o caso proposto pode ser um excelente recurso pedagógico na formação desses químicos.

Um bom caso deve também ser atual, ou seja, incidir sobre um problema recorrente, comum a diversas realidades e carente de uma solução urgente. Pelo seu tema, o caso cumpre esse critério: de todos os países, o Brasil possui a terceira

12 Brasil, Ministério da Educação, "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química", disponível em: https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

13 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.

maior produção agrícola, mas é o campeão em consumo de agrotóxicos (especialmente herbicidas, seguidos de inseticidas e fungicidas), o que tem contribuído sobremaneira para a contaminação do solo em muitas das regiões brasileiras[14].

Outro critério diz respeito à extensão do caso, sendo preferíveis os casos curtos, com narrativas fluidas. Além disso, um bom caso deve gerar conflitos e conduzir à tomada de posição. De fato, o caso apresentado cumpre esses dois critérios e, com relação ao último, prevê-se que sua resolução requeira, dos estudantes, que assumam posicionamentos. Afinal, o caso se desenrola a partir de um abuso no emprego de agrotóxicos, e espera-se que as soluções possam levar ao questionamento das próprias bases da atual produção agrícola brasileira.

O Brasil, historicamente, firmou-se como um país de economia dependente, sendo boa parte de sua produção agrícola voltada para a exportação, a partir do binômio latifúndio/monocultura. A modernização desse modelo produtivo se assentou na mecanização e no emprego de uma ampla diversidade de agrotóxicos, o que inclusive dificulta a avaliação de seus impactos sobre ambiente e saúde. No caso dos inseticidas, seu uso indiscriminado pode ter uma consequência que se volta diretamente contra a própria produção agrícola: a morte de insetos polinizadores, especialmente abelhas, levando a fenômenos como o distúrbio do colapso de colônias, o súbito desaparecimento de populações inteiras de colmeias[15].

Assim, a resolução do caso pode colaborar para o questionamento desse modelo, e para que os estudantes conheçam outras perspectivas para a produção agrícola, como a agroecologia, "uma disciplina que fornece os princípios ecológicos básicos para estudar, desenhar e manejar agroecossistemas produtivos e conservadores dos recursos naturais, apropriados culturalmente, socialmente justos e economicamente viáveis" (p.9)[16]. A agroecologia se diferencia por considerar os conhecimentos acumulados historicamente pelas populações camponesas, os direitos dos trabalhadores da agricultura e a necessidade de levar, aos consumidores, produtos de qualidade: aqueles que, visando a atender as necessidades humanas sem atentar contra a saúde, provenham de uma produção que respeite os ciclos naturais e as relações ecológicas.

---

14 Bárbara Bermudes Siqueira e Thaiany Souza Canal Bressiani, "O uso de agrotóxicos e os impactos na saúde do trabalhador rural: uma revisão sobre o herbicida glifosato", *Vértices,* vol. 25, n. 2, e25218576, 2023. https://doi.org/10.19180/1809-2667.v25n22023.18576

15 Simon G. Potts *et al.*, "Declines of managed honey bees and beekeepers in Europe", *Journal of Apicultural Research*, vol. 49, n. 1, pp. 15-22, 2010. https://doi.org/10.3896/ibra.1.49.1.02

16 Miguel Altieri, *Agroecologia: bases científicas da agricultura sustentável*, Montevidéu, Nordan-Comunidad, 1999.

3.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

O caso foi inspirado em duas notícias reais: um acontecimento na reserva indígena Apyterawã, em 2019; e outro no pantanal sul-mato-grossense, na região de Abobral, dois anos depois. Nenhum dos eventos envolveu o fipronil, e sim outros agrotóxicos, utilizados com finalidade semelhante.

O portal *Mongabay* (especializado em notícias sobre conservação ambiental), em matéria escrita pela jornalista Jenny Gonzales, relata o caso de 2019, quando o Ibama realizou uma operação na Amazônia após imagens de satélite apontarem a expansão do desmatamento de regiões próximas a reservas ambientais[17]. Após uma investigação, o órgão descobriu que agrotóxicos, mais especificamente herbicidas desfolhantes, estavam sendo pulverizados na mata por um aeroplano, prática proibida, mas dificilmente fiscalizável.

Já os eventos de 2021 foram relatos no portal G1, pelo jornalista José Câmara[18]. Naquele ano, 20 animais silvestres, incluindo duas onças pintadas, foram encontrados mortos em uma reserva situada dentro de uma fazenda do pantanal sul-mato-grossense. A Polícia Federal foi acionada e os peritos constataram que os animais morreram de intoxicação severa, por um agrotóxico à base de carbofurano. Praguicidas com essa substância são tão tóxicos que acabaram proibidos, no país, desde 2017.

3.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

A contaminação da reserva por fipronil pode ser mitigada pela utilização de técnicas que transformem, degradem e/ou neutralizem o contaminante. Dessa forma, a remediação (degradação e imobilização química) e a biorremediação (microbiana e fitorremediação) surgem como soluções possíveis, e viáveis, para o caso. Essas abordagens favorecem a restauração da qualidade do solo e da água, promovendo a recuperação do habitat natural da fauna e flora, e, portanto, da biodiversidade.

---

17 Jenny Gonzales, "Chemical defoliants sprayed on Amazon rainforest to facilitate deforestation in Brazil", *Mongabay*, 19 jan. 2019, disponível em: https://news.mongabay.com/2022/01/pesticides-released-into-brazils-amazon-to-degrade-rainforest-and-facilitate-deforestation/. Acesso em 13 ago. 2025.

18 José Câmara, "Onças e outros 18 animais foram mortos envenenados com agrotóxico ilegal, no Pantanal, diz PF", *G1*, 24 mai. 2021, disponível em: https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2022/05/24/oncas-e-outros-18-animais-silvestres-foram-mortos-envenenados-com-agrotoxico-ilegal-no-pantanal-diz-pf.ghtml. Acesso em 13 ago. 2025.

3.4.1 BIORREMEDIAÇÃO MICROBIANA

A biorremediação microbiana consiste em uma técnica de remediação ambiental que utiliza organismos como bactérias e fungos para transformar, degradar ou neutralizar poluentes químicos ambientais[19]. Esses microrganismos interagem com os contaminantes, propiciando a sua decomposição em produtos menos tóxicos ou mais fáceis de serem degradados.

A técnica é considerada uma solução ecologicamente sustentável, uma vez que dispensa o uso de processos físicos ou químicos, considerados mais agressivos e dispendiosos. Além disso, é uma abordagem aplicável tanto a ambientes aquáticos como terrestres. Vale acrescentar que a biorremediação microbiana pode ocorrer espontaneamente, pelos próprios organismos presentes no ambiente, ou pode ser induzida pela adição de microrganismos específicos.

A biorremediação microbiana do fipronil requer espécies próprias, que apresentam genes de codificação de enzimas capazes de realizar a degradação. Microrganismos como *Aspergillus* sp. e *Staphylococcus* sp.[20], *Trametes versicolor*[21], *Bacillus* sp.[22], *Streptomyces* sp.[23], *Paracoccus* sp.[24] e *Klebsiella* sp.[25], mostraram-se capazes de degradar e neutralizar ambientes contaminados com fipronil. O que esses seres unicelulares realizam, assim, é o uso do fipronil como fonte de carbono e nitrogênio para o crescimento ou para a conversão em metabólitos.

---

19 Pankaj Bhatt *et al.*, "Insights into the toxicity and biodegradation of fipronil in contaminated environment", *Microbiological Research*, vol. 266, 127247, 2023. https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127247

20 Leticia Pizzul, María del Pilar Castillo e John Stenström, "Degradation of glyphosate and other pesticides by ligninolytic enzymes", *Biodegradation,* vol. 20, n. 6, pp. 751-759, 2009. https://doi.org/10.1007/s10532-009-9263-1

21 Jordyn M. Wolfand, Gregory H. LeFevre e Richard G. Luthy, "Metabolization and degradation kinetics of the urban-use pesticide fipronil by white rot fungus Trametes versicolor", *Environmental Science: Processes & Impacts*, vol. 18, pp. 1256-1265, 2016. https://doi.org/10.1039/C6EM00344C

22 Pankaj Bhatt *et al.*, "Insight into microbial applications for the biodegradation of pyrethroid insecticides", *Frontiers in Microbiology*, vol. 10, 2019. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01778

23 Jayanthi Abraham e Anudurga Gajendiran, "Biodegradation of fipronil and its metabolite fipronil sulfone by Streptomyces rochei strain AJAG7 and its use in bioremediation of contaminated soil", *Pesticide Biochemistry and Physiology*, vol. 155, pp. 90-100, 2019. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.01.011

24 Rajinder Kumar, Balwinder Singh e Vinod Kumar Gupta, "Biodegradation of fipronil by Paracoccus sp. in different types of soil", *Bulletin of Environmental Contamination and* Toxicology, vol. 88, pp. 781-787, 2012. https://doi.org/10.1007/s00128-012-0578-y

25 Sayi D. S. *et al.*, "Isolation and molecular identification of pesticide (fipronil) degrading bacteria from mangrove soil", *Research Journal of Chemistry and Environment*, vol. 24, n. 4, pp. 125-128, 2020.

O processo de biodegradação do fipronil é influenciado por fatores como disponibilidade de oxigênio, presença de nutrientes essenciais e interação com outros compostos na matriz, e sua eficácia depende da adaptação dos microrganismos ao ambiente contaminado, exigindo, muitas vezes, um período de adaptação das comunidades microbianas ao novo substrato tóxico. As espécies listadas no parágrafo anterior têm se mostrado viáveis também quanto a esse aspecto.

Assim, no contexto do estudo de caso, os químicos Doutora Flora e Doutor Fauna podem convencer o Senhor Sem-Floresta a mobilizar a biorremediação microbiana para mitigar a contaminação da reserva ambiental por fipronil. Trata-se de uma técnica economicamente vantajosa e ecologicamente sustentável, oferecendo uma solução a longo prazo para a recuperação da reserva, sem causar mais danos ao meio ambiente.

3.4.2 FITORREMEDIAÇÃO

Outra proposta possível para reverter o problema causado pela contaminação com o fipronil é a fitorremediação, que é análoga à técnica da biorremediação microbiana, mas, no lugar de microrganismos, utiliza plantas específicas para remover, estabilizar ou degradar poluentes tanto no solo quanto na água, sendo uma sugestão eficaz e sustentável para a remediação de áreas contaminadas.

As ações do Senhor Sem-Floresta afetaram uma reserva ambiental. Assim, o método da fitorremediação poderia ser adotado justamente devido à possibilidade de plantas com capacidade de absorver ou metabolizar o contaminante poderem ser introduzidas nas áreas afetadas, sem abalar diretamente o ambiente. Algumas espécies, como *Crotalaria juncea* e *Brassica juncea*, são conhecidas por essa capacidade de acumular e degradar pesticidas e outros contaminantes orgânicos[26].

Entre as vantagens da fitorremediação, pode-se destacar seu caráter ecologicamente sustentável, pois essas plantas realizam a absorção do poluente químico por meio de suas raízes. Isso permite que as substâncias poluentes sejam extraídas do solo ao longo do tempo, reduzindo sua concentração gradativamente, sem a necessidade de técnicas agressivas, como a remoção física do solo ou o emprego de outros produtos químicos. Além disso, é um processo de baixo custo, em comparação com os métodos mais invasivos, como a remoção física por escavação e o descarte do solo contaminado[27].

---

26 Ahmed Ali Ali Romeh, "Green silver nanoparticles for enhancingthe phytoremediation of soil and watercontaminated by fipronil and degradation products", *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 229, 2018. https://doi.org/10.1007/s11270-018-3792-3

27 Simran Takkar *et al.*, *Green technology: phytoremediation for pesticide pollution*, Amsterdam, Elsevier, pp.353-375, 2022, cap. 17. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85763-5.00008-8

É necessário, entretanto, reconhecer algumas desvantagens da fitorremediação. Uma das principais limitações é o tempo necessário para que o processo comece a mostrar seus resultados de forma visível, pois, dependendo do nível de contaminação, podem ser necessários meses ou anos até que as plantas consigam remover completamente o pesticida. Obviamente, trata-se de um grande obstáculo, caso se busque uma solução mais imediatista. Além disso, o método é limitado pela profundidade de alcance das raízes, repercutindo em menor efetividade nas áreas onde o poluente químico consegue penetrar profundamente no solo[28].

3.4.3 DEGRADAÇÃO E IMOBILIZAÇÃO QUÍMICA

A degradação e imobilização química, empregada em diversos ambientes contaminados, engloba a transformação e neutralização de poluentes em formas menos tóxicas, reduzindo assim seu potencial de mobilidade e, assim, seu impacto no ecossistema e na saúde humana[29].

A aplicação da técnica consiste na adição de agentes quimicamente reativos que se ligam aos contaminantes, alterando suas propriedades físico-químicas. Isso resulta na neutralização e transformação dos poluentes em produtos de menor solubilidade e mobilidade, dificultando a sua dispersão e ajudando em sua eliminação. Estudos demonstram que a imobilização química é uma abordagem sustentável, favorecendo a recuperação de áreas contaminadas e, como nos casos da biorremediação microbiana e da fitorremediação, minimizando a necessidade de intervenções mais invasivas, como a remoção física de solos poluídos[30].

O que foi apontado, anteriormente, aplica-se ao fipronil, estando atestada a eficácia de sua degradação e imobilização química enquanto solução para seus efeitos contaminantes. Especificamente, a remediação química dessa substância engloba a aplicação de agentes como peróxido de hidrogênio, soluções-tampão e compostos dopados com boro e titânio, que interagem com as moléculas de fipronil e as degradam em formas menos nocivas[31].

---

28 Elizabeth Pilon-Smits, "Phytoremediation", *Annual Review of Plant Biology*, vol. 56, pp. 15-39, 2005. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214

29 Lukas Oudejans *et al.*, "Remediating indoor pesticide contamination from improper pest control treatments: persistence and decontamination studies", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 397, 122743, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122743

30 Atmakuru Ramesh e Muthukrishnan Balasubramanian, "Kinetics and hydrolysis of fenamiphos, fipronil, and trifluralin in aqueous buffer solutions", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 47, n. 8, pp. 3367-3371, 1999. https://doi.org/10.1021/jf980885m

31 Monica Brienza e Sergi Garcia-Segura, "Electrochemical oxidation of fipronil pesticide is effective under environmental relevant concentrations", *Chemosphere*, vol. 307, n. 4, 135974, 2022. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135974

Assim, no contexto do estudo de caso, os químicos Doutora Flora e Doutor Fauna podem argumentar com o Senhor Sem-Floresta a favor da remediação por degradação e imobilização química, pois trata-se de uma técnica capaz de mitigar a contaminação da reserva ambiental com a vantagem de proporcionar resultados mais imediatos.

3.5 PARA SABER MAIS

3.5.1 ALTERNATIVAS NA MESA[32]

Considerando que os latifúndios e as monoculturas de soja, milho e cana-de-açúcar concentram o uso de 75% dos agrotóxicos consumidos no Brasil, o artigo debate alternativas a esse modelo produtivo, na busca por uma produção menos poluente. Em especial, o texto discute o emprego de tecnologias para otimizar o processo de aplicação dessas substâncias nessas lavouras, mesmo a partir de métodos já estabelecidos, como a pulverização aérea. No final do texto, aborda-se a alternativa agroecológica, no caso das plantações mantidas por pequenos produtores, entendida como uma solução menos poluente e mais capaz de favorecer a economia solidária e os mercados locais.

3.5.2 AGROTÓXICOS PODEM AFETAR A SAÚDE DE TRABALHADORES RURAIS[33]

O artigo traz resultados de pesquisas que avaliaram a saúde física e mental de trabalhadores rurais, que relataram estar expostos a quase meia centena de diferentes substâncias, muitas das quais proibidas. Entre relatos de intoxicações em lavouras de tomate, arroz, algodão, soja e milho, pautam-se diversas questões relacionadas ao emprego dos agrotóxicos, como a necessidade de treinamento por parte dos trabalhadores do campo (que enfrentam a chamada exposição ocupacional aos pesticidas), as regulamentações sobre o uso dessas substâncias e os efeitos agudos e crônicos das contaminações.

32 Yuri Vasconcelos, "Alternativas na mesa", *Revista Pesquisa FAPESP*, set. 2018, disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/alternativas-na-mesa/. Acesso em 13 ago. 2025.

33 Yuri Vasconcelos e Frances Jones, "Agrotóxicos podem afetar a saúde de trabalhadores rurais", *Revista Pesquisa FAPESP*, out. 2022, disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/agrotoxicos-podem-afetar-a-saude-de-trabalhadores-rurais/. Acesso em 13 ago. 2025.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO: **RENASCENDO DAS CINZAS**

CYNTIA VASCONCELOS DE ALMEIDA[1]
FELIPE SANTANA PENA[2]

Florzinha, aluna de graduação do curso de química da Universidade da Esperança, estava assistindo ao jornal regional no horário de almoço, quando escutou a jornalista Ana Bernardes noticiar:

"O Pico das Ovelhas, parque ecológico localizado no interior do estado de Santo Paulo, na cidade de Colinas, conta com um museu aberto de astronomia e uma vasta região de preservação ambiental. O parque sofreu uma grande perda em relação a sua vegetação, pois foi vítima de um incêndio causado por um político e fazendeiro conhecido da região, o João Isqueiro, movido pela vontade de criar mais áreas para o seu pasto. Porém, o senhor Isqueiro esqueceu que existem no local muitos condomínios, com inúmeras câmeras de segurança. Dessa forma, ele acabou sendo flagrado no momento em que iniciava a sua atividade criminosa. Infelizmente, mesmo com a ajuda dos moradores e do corpo de bombeiros, foi observada uma perda equivalente a 987 hectares de vegetação nativa e exótica."

Na sequência, a reportagem mostrava William Rezende, jornalista da emissora, na delegacia, entrevistando João Isqueiro.

– Senhor João Isqueiro, o que tem a falar sobre a acusação? – disse William.

– Eu sou inocente, não fiz o que estão me acusando! – respondeu prontamente João Isqueiro.

– Senhor Isqueiro, existem imagens que provam sua participação no crime.

– Eu só estava preparando a área para o meu gado poder pastar. Não tenho culpa se o fogo foi além da minha área e causou todo esse incêndio.

Florzinha ficou muito triste com a situação, pois o parque ficava em região muito próxima de sua cidade e, com os pais, na infância, visitava o local, constantemente. O pôr do sol no Pico era um dos mais bonitos que ela já havia presenciado na vida. Além disso, o parque era sempre frequentado por famílias, fora

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

2 Graduando em Licenciatura em Ciências Exatas pela Universidade de São Paulo.

o incentivo à educação realizado pela equipe responsável, que destinava alguns dias exclusivamente para receber alunos das escolas da região.

Florzinha teria aula de química ambiental naquele dia e, ao chegar à faculdade, para a sua surpresa, a professora estava discutindo exatamente o acontecido e como seria difícil a recuperação da região, pois havia a necessidade de restaurar o solo do parque.

– Turma, o solo agora está cheio de fuligem e teve uma considerável perda de minerais, além disso, há a necessidade de ajustar o pH da região, após esse período de queima. Nós, químicos e futuros químicos, podemos ajudar propondo soluções para essa questão. O que acham de realizarmos um projeto de extensão e voluntariado para contribuir na recuperação do nosso querido Pico?

Prontamente Florzinha se juntou ao grupo de voluntários, animada com a oportunidade de apoiar a iniciativa sugerida pela professora.

Sua tarefa é ajudar Florzinha e seu grupo a encontrar maneiras para recuperar o solo do Pico das Ovelhas, facilitando o replantio da vegetação.

4.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso apresenta uma situação real e complexa, que exige que os alunos reflitam sobre a problemática, investiguem o contexto, estudem os fundamentos científicos envolvidos e, a partir disso, possam desenvolver o pensamento crítico e o poder de argumentação necessários no processo de propor soluções. A abordagem do caso trata de uma queimada, supostamente intencional, que devastou uma extensa área de um parque ecológico de grande importância ambiental e educativa. Além da perda significativa da vegetação nativa e exótica, o solo foi severamente impactado, sofrendo uma redução considerável em seus minerais essenciais.

Esse cenário é semelhante ao que os alunos podem encontrar na prática, envolvendo múltiplas variáveis que precisam ser analisadas, como a composição do solo, os impactos na biodiversidade e as estratégias mais adequadas para a recuperação ambiental. Diante desse desafio, torna-se essencial desenvolver abordagens cientificas eficazes para restaurar a fertilidade do solo e viabilizar o replantio da vegetação.

Dessa forma, o texto apresenta questões ambientais relevantes que podem ser discutidas na educação básica em aulas de biologia e química, incentivando prá-

ticas interdisciplinares. Além disso, nas competências 2 e 5 dos componentes de Ciências da Natureza e suas Tecnologias da Base Nacional Comum Curricular[3] é destacado que o ensino de ciências deve possibilitar aos alunos a compreensão de conceitos, capacitando-os a construir argumentos baseados em dados e evidências confiáveis. O uso de estudos de caso no ensino fomenta procedimentos de investigação científica, como identificar problemas, levantar hipóteses e analisar resultados. Isso propicia a participação dos alunos em debates sobre questões científicas, tecnológicas e socioambientais, contribuindo para a construção de uma sociedade justa e inclusiva[4].

No que tange ao ensino médio, é essencial que os alunos aprofundem os conceitos, ampliando sua capacidade de investigar, discutir e propor soluções para problemas complexos. Um exemplo dessa abordagem é apresentado por Sousa, Rocha e Garcia[5], na qual o ensino de isomeria molecular foi conduzido por meio da metodologia de estudo de caso, permitindo que os estudantes direcionassem sua própria aprendizagem. Os resultados indicaram o favorecimento da reflexão crítica dos mesmos sobre a temática em foco.

No ensino superior, a utilização deste estudo de caso em aulas de Química Ambiental é especialmente relevante, pois esse componente curricular tem como objetivo aprimorar a compreensão sobre os impactos das atividades humanas no meio ambiente, além de desenvolver habilidades para a resolução de problemas ambientais e o caso aborda justamente um cenário em que a ação humana afetou diretamente o meio ambiente. Ademais, ao investigar e analisar as alternativas mais acessíveis e eficazes para a revitalização do solo, os alunos têm a oportunidade de aprimorar suas habilidades de resolução de desafios ambientais.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

De acordo com os critérios estabelecidos por Herreid e*t al.*[6], este pode ser considerado um bom caso. A narrativa é concisa, ocupando pouco mais de uma página, o que facilita sua aplicação em sala de aula. Além disso, foi elaborada de

3 Brasil, Ministério da Educação, "Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio", disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em 13 ago. 2025.

4 Salete Linhares Queiroz e Carolina Sotério (orgs.), *Estudos de caso: abordagem para o ensino de química*, São Carlos, Diagrama Editorial, 2023.

5 Robson Simplicio de Sousa, Paula Del Ponte Rocha e Irene Teresinha Santos Garcia, "Estudo de caso em aulas de química: percepção dos estudantes de nível médio sobre o desenvolvimento de suas habilidades", *Química Nova na Escola*, vol. 34, n. 4, pp. 220–228, 2012.

6 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.

maneira a estabelecer uma conexão com o leitor, abordando um tema cada vez mais presente no cotidiano: o aumento de áreas degradadas por conta de queimadas. Esse contexto pode despertar o seu interesse em resolver o conflito central da história (como recuperar o solo do Pico das Ovelhas?). A importância de solucionar esse conflito é destacada por meio da tristeza de Florzinha e seu apego ao local, o que gera empatia com o personagem e seus sentimentos, favorecendo o engajamento do leitor na solução do conflito. Além disso, o fato de a queimada ser supostamente intencional também provoca sentimentos conflitantes, estimulando a reflexão e a busca por possíveis soluções.

Os diálogos entre os personagens são escritos de forma simples, universal e acessível, o que facilita a compreensão por um público amplo. Ademais, o tema abordado no caso tem o poder de gerar uma conexão emocional com o leitor, pois trata da degradação de um ambiente anteriormente utilizado para lazer e descanso. Esse contexto pode evocar lembranças de lugares semelhantes, criando uma identificação pessoal com o problema apresentado.

O conflito principal é bem definido: encontrar diferentes formas de recuperar o solo do Pico das Ovelhas, visando facilitar o replantio da vegetação. Assim, o caso é considerado como bem estruturado[7], já que apresenta de forma objetiva o problema a ser resolvido, permitindo que os estudantes explorem várias alternativas de solução. Outro ponto importante é que o caso possui utilidade pedagógica, pois possibilita a discussão de temas presentes na educação básica, como a biologia, e também pode ser explorado em componentes curriculares do ensino superior que abordam áreas como química ambiental e ciências do ambiente.

A atualidade do caso é evidente e tal característica propicia reflexões sobre como o evento relatado afeta o cotidiano, no que diz respeito a questões sociais, culturais e ambientais. Com efeito, a Agência Brasil[8] reportou em setembro de 2024 que o Brasil concentrava quase 72% das queimadas de toda a América do Sul nas últimas 48h, com o total de 7.322 focos de incêndio, sendo relacionado um total de queimadas, desde o começo do ano até a data da reportagem, 108% maior do que o mesmo período no ano anterior. Além disso, a Polícia Federal apontou que no ano de 2024 a grande maioria das queimadas ocorreu por intervenções humanas, análogo ao retratado neste caso.

A urgência deste tema ficou ainda mais evidente nos últimos meses, especialmente com a recente inclusão da recuperação de solos na pauta das políti-

7 Luciana Passos Sá, Ana Cláudia Kasseboehmer e Salete Linhares Queiroz, "Casos investigativos de caráter sociocientífico: aplicação no ensino superior de Química", *Educación Química*, vol. 24, n. extraordinário 2, pp. 522-528, 2013. https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72523-0

8 Andreia Verdélio, "Brasil concentra 71,9% das queimadas na América do Sul nas últimas 48h", *Agência Brasil*, 14 set. 2024, disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-09/brasil-concentra-719-das-queimadas-na-america-do-sul-nas-ultimas-48h. Acesso em 13 ago. 2025.

cas públicas. A aprovação do Projeto de Lei (PL 1.103/2022)[9] no Senado, em dezembro de 2024, trouxe à tona a importância dessa questão, ao estabelecer a Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Este projeto visa o oferecimento de assistência material e linhas de crédito para agricultores familiares, com foco na recuperação dos solos.

4.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A principal fonte de inspiração para este caso é o Parque Pico das Cabras e Museu Aberto de Astronomia, situados na cidade de Campinas, São Paulo, município onde nasceu e cresceu a primeira autora deste capítulo. Ela conheceu o parque em um final de semana em família e possui muitas memórias relacionadas à beleza natural do lugar e suas trilhas.

Em setembro de 2024 todos foram surpreendidos com a triste notícia da queimada que se alastrava na região em torno do parque e atingiu parte do local, inclusive a autora que, coincidentemente, no mesmo período estava matriculada em um componente curricular de pós-graduação, cuja avaliação final seria a produção de um estudo de caso. Assim, com base em sua vivência e no elevado número de queimadas ocorridas naquele ano, criou esta narrativa.

Segundo reportagem publicada pela CNN em 13 de setembro de 2024, ao todo foram consumidos 120 hectares de vegetação que integra uma região de proteção ambiental da Serra das Cabras[10]. Além disso, a notícia também aponta que um homem foi preso próximo ao local onde se iniciou o incêndio, e portava líquidos inflamáveis e estopa, material utilizado para atear fogo.

O incêndio durou seis dias antes de ser contido, após o uso de quatro caminhões de água, fornecidos pela agência de abastecimento da cidade, e máquinas de esteira da Secretaria de Serviços Públicos[11].

---

9 Brasil, Senado Federal, Projeto de Lei n. 1103/2022, 20 fev. 2022, disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2485095. Acesso em 13 ago. 2025.

10 Fabio Grellet, "Incêndio ameaça Museu de Astronomia e Observatório em SP", G1, 13 set. 2024, disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/incendio-no-pico-das-cabras-ameaca-observatorio-e-museu-de-astronomia-em-sp/. Acesso em 13 ago. 2025.

11 G1 Campinas e Região, "Pico das Cabras: prefeitura diz que controlou incêndio no território de Campinas e mantém monitoramento", *G1*, 15 set. 2024, disponível em: https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2024/09/15/pico-das-cabras-prefeitura-diz-que-que-controlou-incendio-no-territorio-de-campinas-e-mantem-monitoramento.ghtml. Acesso em 13 ago. 2025.

4.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Estudos apontam que a queima do solo pode acarretar prejuízos significativos, sobretudo de natureza química, como a perda de nutrientes essenciais e o aumento da acidez do solo. A seguir, são apresentadas duas soluções para o caso.

4.4.1 CALAGEM

Queimadas frequentes podem provocar diversas consequências negativas, entre as quais se destaca a redução do pH do solo. Isso ocorre porque, durante o processo de combustão de matéria orgânica, há uma perda proporcionalmente maior de ânions em relação aos cátions, o que contribui para o aumento da acidez do solo. Esse aumento da acidez dificulta a absorção de nutrientes essenciais pelas plantas, comprometendo seu desenvolvimento e podendo causar o atrofiamento. Além disso, a acidificação do solo pode aumentar a concentração de elementos tóxicos, que provocam distúrbios fisiológicos nas plantas[12].

Diante desse cenário, torna-se fundamental corrigir a acidez do solo, um processo conhecido como calagem. A calagem consiste na aplicação de materiais de caráter alcalino, como carbonatos, hidróxidos e óxidos de cálcio e magnésio, que neutralizam a acidez e promovem melhores condições para o crescimento das plantas. Por meio da aplicação desse material, os íons H^+ são retirados da solução do solo, geralmente pela ação de hidroxilas (OH^-), formando água (H_2O) e reduzindo a acidez pela elevação do pH[13].

Antes de qualquer aplicação, é fundamental realizar a análise do solo. Com base nos resultados obtidos, deve-se selecionar o corretivo de acidez mais apropriado e calcular a dose necessária, a qual dependerá do grau de acidez identificado. O calcário deve ser distribuído de maneira uniforme sobre a área e pode ser incorporado ao solo ou aplicado superficialmente, sendo que a incorporação tende a acelerar os efeitos da correção. Após a calagem, é imprescindível manter o monitoramento contínuo do solo, pois novas análises permitem verificar se o

12 Joézio L. dos Santos, Lafayette F. Sobral e Mario A. Lima Junior, "Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranjeira", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, n. 11, pp. 1138-1142, 2011. https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001100005

13 Ana Lígia Giraldeli, "Tudo que você precisa saber sobre calagem", *Blog Aegro*, disponível em: https://blog.aegro.com.br/calagem/. Acesso em 13 ago. 2025.

pH foi adequadamente corrigido e se os nutrientes estão disponíveis em níveis adequados para o desenvolvimento das plantas[14].

4.4.2 ADUBAÇÃO QUÍMICA

A adubação química é recomendada após os resultados de análises que apontam a deficiência dos nutrientes no solo e de acordo com o comportamento do fertilizante no solo, para suprir as necessidades específicas daquela região[15]. Importante destacar que esse processo exige um maior investimento.

A aplicação dos fertilizantes pode ser feita de algumas maneiras superficiais: por meio da distribuição de granulados sobre a terra; subterrâneo, quando há a distribuição do adubo granulado ao lado da linha da semeadura; fertirrigação, nesse processo o fertilizante precisa ser solúvel em água para que seja irrigado sobre as mudas; e por último, a pulverização, também deve ter alto teor de solubilidade e são aplicados por meio de equipamentos de pulverização[16].

A adubação química pode ser feita a partir do uso dos seguintes compostos: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. O nitrogênio está presente nas moléculas de clorofila, dos aminoácidos e dos hormônios vegetais, dessa forma, ligado diretamente à atividade fotossintética, aos processos de multiplicação e expansão celular. A deficiência desse composto pode gerar amarelamento das folhas e redução do crescimento. Para a reposição de nitrogênio, podem ser aplicados o sulfato de amônio, a uréia e o nitrocálcio[17].

Já o fósforo está ligado à composição das principais moléculas responsáveis pela energia das plantas, auxilia também na resistência. A falta desse elemento gera escurecimento na folhagem, enrijecimento do limbo e crescimento reduzido em sua folhagem. Alguns compostos úteis para a reposição de fósforo são o superfosfato simples e o superfosfato triplo. O potássio melhora o sabor do fruto, aumentando o teor de açúcar, reduz a probabilidade de doenças das plantas e o

---

14 William Natale *et al.*, "Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 6, p. 1475–1485, 2007. https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600024

15 Anna Carolinna Albino Santosa, Osvaldo Borges Pinto Junior e Amanda Finger, "Impactos da queima na disponibilidade de nutrientes no solo do Parque Nacional de Chapada dos Guimarães – MT", *Lumen et Virtus*, vol. 15, n. 39, pp. 2086-2103, 2024. https://doi.org/10.56238/levv15n39-039

16 Tatiza Barcellos, "Adubação: tipos de adubos e principais métodos de aplicação", *Aegro*, 23 jun. 2022, disponível em: https://blog.aegro.com.br/adubacao/. Acesso em 13 ago. 2025.

17 Lucas Possamai, "Respostas da cultura do milho à adubação organomineral e adubação química", *Revista Cultura Agronômica*, vol. 25, n. 1, pp. 71-78, 2016. https://doi.org/10.32929/2446-8355.2016v25n1p71-78

rachamento dos frutos. Sua deficiência pode causar lesões na vegetação. A reposição pode ser feita por meio do cloreto de potássio[18].

O cálcio é importante na parede celular, auxiliando no crescimento das plantas. A falta desse elemento gera pontos necróticos na vegetação, podendo levar à morte da plantação. Outro fator que destaca a importância desse mineral é o fato de auxiliar na infiltração da água e reduzir o escoamento superficial. Assim como na calagem, pode ser utilizado calcário para a reposição de cálcio no solo. Em relação ao magnésio, ele é o elemento central da clorofila, participando da fotossíntese, além de ser um ativador de várias enzimas. Com a sua diminuição, as plantas podem apresentar danos semelhantes à abrasão, gerando manchas esbranquiçadas[19].

Por fim, o enxofre, presente nos componentes das proteínas estruturais e enzimas, atua como catalisador na produção de clorofila. A sua deficiência gera clorose nas folhas mais novas, além de deixar as plantas desprotegidas, visto que esse elemento está presente no combate natural a pragas e doenças. O uso de calcário, do superfosfato simples ou do sulfato de amônio ajudam a suprir a falta desse elemento[20].

4.5 PARA SABER MAIS

4.5.1 SECA E INCÊNDIOS REDUZEM A BIODIVERSIDADE DAS MATAS[21]

O artigo relata as consequências das queimadas e das secas para a vida dos animais aquáticos e terrestre, além de apontar as mudanças na vegetação devido aos períodos sucessivos de queimadas. A diminuição na reprodução dos peixes na Região Norte do país, devido a altas temperaturas das águas e do ar poluído

18 Habtam Setu, "Effect of phosphorus and potassium fertilizers application on soil chemical characteristics and their accumulation in potato plant tissues", *Applied and Environmental Soil Science*, vol. 2022, n. 1, 342170, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/5342170

19 Janet C. Cole *et al.*, " Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants", vol. 211, pp. 420-430, 2016. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.028

20 Nand Kumar Fageria, Maria da Conceição Santana Carvalho e Itamar Pereira de Oliveira, "Calagem e Adubação", pp. 59-76 Infoteca Embrapa, cap.5, disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1015113/1/p59.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

21 Carlos Fiorvanti, "Secas e incêndios reduzem biodiversidade das matas", *Revista Pesquisa FAPESP*. Ed. 347, jan. 2025, disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/seca-e-incendios-reduzem-biodiversidade-das-matas/. Acesso em 13 ago. 2025.

pelas queimadas, assim como a carbonização de animais no pantanal e a mudança da vegetação no Pará e em Minas Gerais, são abordadas.

4.5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA E QUEIMADAS: UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA O ESTUDO DE TERMOQUÍMICA[22]

O artigo relata uma sequência didática aplicada no ensino médio, que relaciona o conteúdo de termoquímica com a temática queimadas. Esta foi estruturada com base nos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti[23] (problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento) e contemplou a introdução ao tema queimadas e a abordagem conceitual sobre termoquímica (calor e temperatura; processo exotérmicos e endotérmicos).

22 Taynara Bonfim Riquiere e Fabiano Pereira do Amaral, "Sequência didática e queimadas: uma estratégia de ensino para o estudo de termoquímica. REAMEC", *Revista da Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática*, vol. 12, e24063, 2024. https://doi.org/10.26571/reamec.v12.17571

23 Demétrio Delizoicov e José André Angotti, *Metodologia do ensino de ciências*, 2. ed., São Paulo, Cortez, 2000.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO: **PLÁSTICOS "BIODESAGRADÁVEIS"**

LUCAS FREITAS FEITOSA[1]
PEDRO AUGUSTO SPONCHIADO[2]
CAIO MORALEZ DE FIGUEIREDO[3]

Após um longo período de atividades remotas devido à pandemia, a escola de Rafael, Alice e Marcos finalmente voltou às aulas presenciais. Com o retorno, houve uma reestruturação dos serviços de alimentação no refeitório para garantir maior segurança e higiene. Uma das mudanças foi a adoção de copos e talheres descartáveis, visando reduzir o compartilhamento de utensílios entre os alunos. No entanto, isso gerou um aumento significativo do uso de materiais plásticos no dia a dia escolar.

Preocupada com o impacto ambiental, a escola decidiu substituir os utensílios de plástico comum por aqueles etiquetados como "biodegradáveis". Embora essa troca tenha sido bem recebida pela comunidade escolar, logo surgiram dúvidas sobre a real eficácia dos plásticos biodegradáveis utilizados.

Rafael, Alice e Marcos, que participam de um projeto de sustentabilidade na escola, foram os primeiros a notar que, apesar da iniciativa, a quantidade de lixo plástico descartado parecia continuar a crescer. Diante dessa preocupação, os três amigos se reuniram para entender melhor a situação e encontrar uma solução sustentável.

– Eu peguei um desses copos "biodegradáveis" no refeitório hoje, mas fiquei me perguntando: será que ele realmente se decompõe rápido? Ou é só marketing verde? – questionou Rafael.

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

– Boa pergunta, Rafa. Eu também estava pensando nisso. Não é porque ele é chamado de "biodegradável" que vai desaparecer do dia para a noite. Depende muito do tipo de plástico e das condições a que ele é exposto – falou Alice.

– Isso me preocupa também. Eu acho que devíamos fazer mais do que simplesmente aceitar o rótulo. Vamos investigar como esses plásticos funcionam de verdade e propor algo que seja viável para nossa escola. Talvez até uma solução mais prática e eficaz para reduzir o uso desses copos, se eles não forem tão biodegradáveis assim – reforçou Marcos.

– Boa ideia. Talvez a solução esteja em algo como o uso de copos reutilizáveis, ou, se continuarem com os biodegradáveis, precisamos entender como garantir que eles sejam compostados – comentou Rafael.

– Exatamente. Vamos começar a pesquisa quais condições são necessárias para a degradação eficiente dos plásticos biodegradáveis, e como isso pode ser implementado aqui na escola – sugeriu Alice.

Os estudantes logo descobrem que a escola está descartando os copos biodegradáveis no lixo comum, sem qualquer tratamento específico que garanta sua decomposição adequada. Isso levanta um dilema: será que os plásticos biodegradáveis realmente estão cumprindo seu papel, ou estão apenas gerando uma falsa sensação de sustentabilidade?

Para solucionar o problema, eles precisam propor uma alternativa viável para o descarte correto desses materiais ou sugerir o uso de opções mais sustentáveis, como talheres e copos reutilizáveis. Como a composição química dos plásticos biodegradáveis influencia o processo de decomposição em diferentes ambientes?

Coloque-se no lugar dos estudantes e sugira soluções que poderiam ser aplicadas no refeitório da escola para garantir um descarte mais sustentável.

5.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

A situação apresentada parte de um contexto realista, estimulando os estudantes à reflexão e ao debate sobre plásticos, gestão de resíduos sólidos urbanos e sustentabilidade. Essa perspectiva favorece a aquisição de saberes científicos e tecnológicos relacionados à produção, descarte e impactos ambientais desses materiais, além de fomentar uma análise crítica acerca do conceito de biodegradabilidade. A trama levanta questionamentos sobre a eficácia da decomposição

desses produtos quando descartados, motivando os estudantes à investigação do tema e ao desenvolvimento de propostas mais alinhadas à preservação ambiental.

Ao abordar uma circunstância corriqueira no âmbito escolar, a narrativa aproxima-se da realidade dos estudantes, proporcionando o enfrentamento de desafios. Dessa forma, exige-se não apenas uma avaliação crítica, mas também a elaboração de soluções viáveis e adaptadas ao cotidiano da instituição de ensino. Por isso, o caso convida à reflexão sobre o consumo excessivo de plástico, seus impactos ambientais decorrentes e as lacunas no debate em torno dos materiais supostamente biodegradáveis. O caso também expõe o desafio em conciliar as demandas sanitárias pós-pandêmicas e a necessidade de práticas mais ambientalmente responsáveis.

Polímeros são macromoléculas constituídas por unidades repetitivas (monômeros) ligadas covalentemente, formando longas cadeias orgânicas. No caso específico dos plásticos sintéticos, como o polipropileno, essas cadeias são majoritariamente baseadas em átomos de carbono, embora possam incluir outros elementos (oxigênio, nitrogênio, cloro etc.)[4]. Os plásticos são, em geral, produzidos a partir de dois tipos principais de reações: polimerização por adição e por condensação, que podem ser moldáveis sob calor e pressão. Sua versatilidade e durabilidade os tornam amplamente utilizados em embalagens, produtos industriais e bens de consumo, mas sua resistência à degradação ambiental gera desafios significativos em termos de poluição e gestão de resíduos[5].

Uma das alternativas investigadas para mitigar esse problema é o desenvolvimento dos bioplásticos. Esses materiais diferenciam-se dos plásticos convencionais tanto pela origem quanto pela capacidade de sofrer biodegradação. Em geral, os bioplásticos são derivados de fontes renováveis, como o amido de milho, a celulose ou a cana-de-açúcar, ao contrário dos plásticos tradicionais, que têm origem no petróleo. A degradação completa dos bioplásticos em dióxido de carbono e água deve ocorrer por meio de processos naturais, como a ação de microrganismos, radiação solar e chuva[6].

No ensino superior, o estudo de polímeros contempla conteúdos abordados em componentes curriculares como Química Ambiental, Química dos Polímeros, Química de Materiais, Bioquímica e Química Orgânica. A temática aborda conteúdos clássicos, como grupos funcionais, mecanismos de reações de polimerização,

---

4 Peter Atkins, Loretta Jones e Ricardo Bicca de Alencastro, *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*, 5. ed. Porto Alegre, Bookman, 2012.

5 Cheuk-Fai Chow *et al.*, "Plastic waste problem and education for plastic waste management", *Emerging Practices in Scholarship of Learning and Teaching in a Digital Era*, pp. 125-140, 2017, cap. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3344-5_8

6 Temoor Ahmed *et al*,. "Biodegradation of plastics: current scenario and future prospects for envirnmental safety", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, pp. 7287-7298, 2018. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1234-9

além de permitir estudos de cinética e termodinâmica em relação à sua degradação, possibilitando o uso do caso no componente curricular Físico-Química.

Este estudo de caso também pode ser explorado na educação básica, especialmente no ensino médio, dentro dos conteúdos que envolvem a estrutura e as propriedades dos compostos orgânicos, assim como a cinética química. Além disso, favorece discussões sobre a avaliação das potencialidades, limitações e riscos relacionados ao uso de diferentes materiais e/ou tecnologias, contribuindo para a tomada de decisões responsáveis e fundamentadas diante dos desafios contemporâneos associados ao descarte de resíduos[7].

A proposta também é pertinente para a abordagem de assuntos relacionados às ciências da natureza no ensino fundamental, anos finais. Para tanto, a chamada à ação pode ser adaptada da seguinte forma: "Coloque-se no lugar dos estudantes, pesquise o que são plásticos e quais os seus impactos ambientais. Em seguida, proponha uma solução que possa ser aplicada no refeitório da escola, visando um descarte mais sustentável.". Nesse contexto, valoriza-se a resolução de situações-problema vinculadas à realidade local, o que possibilita a integração do estudo de caso a atividades experimentais e a projetos conduzidos pelos próprios estudantes, com foco na gestão e no descarte responsável de resíduos no ambiente escolar.

5.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Com relação às características do caso, de acordo com os critérios de Herreid *et al.*[8], este pode ser classificado como um bom caso, pois: narra uma história, que envolve três personagens (Rafael, Alice e Marcos), proporcionando um contexto familiar para os estudantes e abordando um problema relevante para o ambiente escolar, o que facilita a identificação do leitor com os personagens e a situação; desperta o interesse pela questão, pois o diálogo entre os personagens levanta dúvidas sobre a eficácia dos plásticos biodegradáveis, desafiando a ideia comum de que todo material rotulado como "biodegradável" é ambientalmente sustentável. Ao criar essa incerteza, o caso estimula a curiosidade dos alunos e os incentiva a pesquisar o tema para chegar a uma conclusão; é atual, pois o aumento do uso de materiais descartáveis em ambientes públicos, como escolas, e as

7 Brasil, Ministério da Educação, "Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio", disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em 13 ago. 2025.

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.

tentativas de soluções mais sustentáveis, como os plásticos biodegradáveis, fazem parte de um debate global em andamento.

O caso também é relevante ao leitor, pois está diretamente conectado ao público escolar, já que o cenário está situado em uma escola, e o problema envolve práticas comuns no cotidiano dos estudantes. A questão dos plásticos e da sustentabilidade é importante para a geração atual, que está cada vez mais consciente das questões ambientais. Assim, o caso apresenta utilidade pedagógica, permitindo que os estudantes apliquem conceitos de química (como composição de polímeros e processos de biodegradação) a um problema real, promovendo o aprendizado ativo e contextualizado. Além disso, estimula o desenvolvimento de habilidades críticas, como pesquisa, análise de dados e solução de problemas, tornando-o um recurso pedagógico para aulas de ciências.

O estudo de caso aborda os impactos causados pelo aumento do consumo de plásticos descartáveis, especialmente com a retomada das aulas presenciais após a pandemia da COVID-19, em 2022, além de propor uma reflexão sobre o termo biodegradável e sua real eficácia como substituto do plástico convencional.

De acordo com o último levantamento realizado em 2019, o Brasil ocupava a quarta posição no ranking de maiores produtores de plástico no mundo, gerando 11355220 milhões de toneladas de lixo plástico por ano[9]. Sendo que deste total, apenas 1,3% é reciclado[10]. Segundo o relatório de 2021 do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente[11], a pandemia agravou o problema do acúmulo de resíduos plásticos, gerando efeitos sociais e ambientais negativos, especialmente em comunidades marginalizadas. O relatório também destacou que a poluição plástica afeta desproporcionalmente as populações que vivem perto de áreas de produção.

Durante o período pandêmico, o uso de plásticos não-biodegradáveis e de uso único cresceu significativamente, seja por embalagens de alimentos, máscaras descartáveis ou outros itens de proteção[12]. Embora os plásticos sejam materiais úteis, versáteis e duráveis, o seu descarte inadequado tem provocado sérios da-

9 Tatiana Coelho, "Brasil é o 4°maior produtor de lixo plástico do mundo e recicla apenas 1%", *G1*, 04 mar. 2019, disponível em: https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/03/04/brasil-e-o-40--maior-produtor-de-lixo-plastico-do-mundo-e-recicla-apenas-1.ghtml. Acesso em 13 ago. 2025.

10 Jornal da USP no Ar, "Apenas 9% do plástico global é reciclado; no Brasil, a porcentagem é ainda menor", *Jornal USP*, 06 mar. 2024, disponível em: https://jornal.usp.br/radio-usp/apenas-9-do-plastico-global-e-reciclado-no-brasil-porcentagem-ainda-e-menor/. Acesso em 13 ago. 2025.

11 Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), Relatório anual 2021, PNUMA, 2022, disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37946/UNEP_AR2021_PT.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

12 Ana L. Patrício Silva, "Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: challenges and recommendations", *Chemical Engineering Journal*, vol. 405, 126683, 2021. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126683

nos ambientais, afetando a qualidade de vida das pessoas. Isso torna urgente a busca por soluções sustentáveis que promovam a redução do seu uso, mitigando impactos, como poluição dos oceanos, contaminação do solo e da água, geração de gases de efeito estufa, contaminação de ecossistemas por microplástico e proliferação de vetores de doenças. O acúmulo de plástico em locais inadequados, como terrenos baldios e lixões a céu aberto, cria ambientes propícios para a proliferação de vetores de doenças, como mosquitos, ratos e baratas. Esses vetores podem transmitir doenças graves, como dengue, leptospirose e peste bubônica, representando um risco à saúde pública[13].

É ainda preocupante a repercussão causada devido à poluição plástica em comunidades residentes próximas a áreas de produção ou descarte de resíduos plásticos - que sofrem com a proliferação de vetores de doenças, a contaminação da água potável e a degradação do ambiente em que vivem -, assim como na economia e no turismo. A poluição plástica causa prejuízos econômicos em diversos setores, como a pesca, o turismo e a agricultura. A presença de plástico nos oceanos prejudica a pesca, reduzindo a quantidade e a qualidade do pescado, enquanto a poluição visual causada pelo acúmulo de plástico em praias e outros locais turísticos afugenta visitantes e impacta negativamente a economia local. A biodiversidade também é afetada por ela, pois, em diferentes ecossistemas, prejudica a vida de diversas espécies de animais e plantas. Animais podem se enroscar em pedaços de plástico, sofrer lesões e até morrer. A ingestão de plástico por animais marinhos pode causar obstrução intestinal, inanição e morte.

Nesse contexto, o caso apresenta os bioplásticos ou biopolímeros como alternativas viáveis. Derivados de fontes renováveis, esses materiais se decompõem em prazos menores que os plásticos convencionais de origem petroquímica. A substituição de utensílios plásticos por bioplásticos oferece diversas vantagens, sendo a mais relevante sua capacidade de degradação acelerada, que contribui diretamente para reduzir a poluição ambiental causada por plásticos convencionais, cuja decomposição pode levar décadas ou mesmo séculos[14].

É importante, contudo, ressaltar que os plásticos biodegradáveis, embora se decomponham em um intervalo de tempo menor que os convencionais, exigem condições específicas para sua degradação[15]. O descarte inadequado no meio

13 Guo Ren Mong *et al*., "A review on plastic waste valorisation to advanced materials: solutions and technologies to curb plastic waste pollution", *Journal of Cleaner Production*, vol. 434, 140180, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140180

14 Dinesh Adhikari *et al*,. "Degradation of bioplastics in soil and their degradation effects on environmental microorganisms", *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, vol. 5, pp. 23-34, 2016. https://doi.org/10.4236/jacen.2016.51003

15 S. Mehdi Emadian, Turgut T. Onay e Burak Demirel, "Biodegradation of bioplastics in natural environments, *Waste Management*, vol. 59, pp. 526-536, 2017. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006

ambiente pode resultar em acúmulo de resíduos, gerando impactos ambientais semelhantes aos do plástico convencional. Nesse contexto, o estudo de caso em questão não apenas aborda o uso de plásticos biodegradáveis, mas também promove uma discussão crítica sobre a necessidade de tratamento adequado durante o descarte. Adicionalmente, estimula a reflexão dos estudantes sobre as condições ideais para processamento desses bioplásticos no fim de seu ciclo de vida e alternativas não descartáveis que poderiam ser implementadas.

5.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A escolha do tema plásticos biodegradáveis para o estudo de caso foi fortemente inspirada pela proximidade com o trabalho acadêmico desenvolvido por Pedro Sponchiado, um dos autores deste capítulo. Pedro está envolvido em um grupo de pesquisa que se dedica ao estudo de biopolímeros, materiais de grande relevância no cenário contemporâneo.

O grupo de pesquisa de Pedro tem explorado a utilização e o desenvolvimento de biopolímeros como materiais alternativos que podem ser aplicados em diferentes setores, inclusive na indústria de embalagens. Isso está alinhado diretamente com os conteúdos abordados no estudo de caso, no qual é discutida a substituição de plásticos tradicionais por materiais biodegradáveis. O estudo de biopolímeros ganha destaque não apenas em termos de inovação científica, mas também como uma solução real para questões ambientais urgentes, como o acúmulo de resíduos plásticos.

Dois artigos do grupo de pesquisa de Pedro merecem ser destacados pela relevância ao tema abordado no estudo de caso. O primeiro[16] discute o potencial dos biopolímeros na indústria de embalagens alimentícias. Este trabalho aborda como esses materiais, além de serem sustentáveis, podem integrar novas tecnologias associadas à Quarta Revolução Industrial, fornecendo soluções para a crise ambiental gerada pelos plásticos não-biodegradáveis. O segundo[17] trata do desenvolvimento de materiais de embalagens biopoliméricas para proteger produtos sensíveis à umidade. Esse estudo explora os desafios técnicos e as vantagens de utilizar biopolímeros em substituição aos plásticos convencionais em setores

16 Larissa do Val Siqueira *et* al., "Starch-based biodegradable plastic: methods of production, challenges and future perspectives", *Current Opinion in Food Science*, vol. 38, pp. 122-130, 2021. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.020

17 Carla Ivonne Arias La Fuente, Bianca Chieregato Maniglia e Carmem Cecília Tadini, "Biodegradable polymers: a reviwe about biodegradation and its implications and applications", *Packaging Technology and Science*, vol. 36, n. 2, pp. 81-95, 2022. https://doi.org/10.1002/pts.2699

nos quais a preservação do produto é crucial, destacando a viabilidade comercial e ambiental desses materiais.

5.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

5.4.1 IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE COMPOSTAGEM NA ESCOLA

Os plásticos convencionais, aqueles de matéria-prima de origem petroquímica, possuem três destinações típicas para descarte: aterros sanitários, o qual concentram 79% dos descartes; incineração, que permite produção de energia, mas emite altas quantidades de poluentes variáveis na atmosfera; e a reciclagem ou o reuso, que totaliza 9% do descarte global[18]. Para esses tipos de plásticos, sua biodegradação não ocorre, ou ocorre de forma muito lenta, podendo levar séculos[19].

A biodegradabilidade consiste na capacidade de um material ser quebrado metabolicamente por microrganismos (como bactérias, fungos, protozoários e algas) em condições ambientais específicas, convertendo-o em produtos finais simples (CO_2, H_2O, biomassa e/ou CH_4). Esse processo ocorre por vias aeróbicas (na presença de oxigênio) ou anaeróbicas (na ausência de oxigênio), dependendo de fatores como temperatura, umidade, pH, disponibilidade de oxigênio, estrutura química do material e sua massa molar. Dessa forma, para um bioplástico se degradar, depende-se das condições físicas, químicas e biológicas do meio. Assim, nem todo bioplástico é naturalmente biodegradável, como casos da bio-PET ou plásticos derivados da cana-de-açúcar, que necessitam de condições específicas para que a degradação ocorra[20].

A proposta de solução do caso envolve a criação de um sistema de compostagem para o descarte adequado de resíduos orgânicos e plásticos biodegradáveis. A escola poderia estabelecer uma área destinada à compostagem, onde os alunos seriam responsáveis por separar os resíduos biodegradáveis, contribuindo para a redução do lixo e para a educação ambiental.

---

18 Roland Geyer, Jenna R. Jambeck e Kara Lavender Law ,"Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science Advances*, vol. 3, n. 7, e1700782, 2017. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782

19 Carina Carvalho Cardoso, "Avaliação da degradação biológica de canudos descartáveis em vermicompostagem", trabalho de conclusão de curso, Dois Vizinhos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

20 Amélia S. F. Santos *et al.*, "Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição", *Polímeros*, vol. 22, n. 3, pp. 228-237, 2012. https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000036

A compostagem é considerada um método de destino de compostos orgânicos ambientalmente correto e consiste na degradação desses compostos em adubo orgânico[21]. Ela ocorre em duas etapas principais, a primeira com elevação de temperatura devido à ação metabólica dos microrganismos. Nesta etapa o processo de decomposição dos compostos em nutrientes biodisponíveis é máximo e ocorre majoritariamente via aeróbica, necessitando da presença do gás oxigênio. Na segunda etapa ocorre a diminuição de temperatura, devido à queda da atividade dos microrganismos e indica que o composto pode ser utilizado como adubo agrícola.

Dessa forma, a compostagem pode ser uma alternativa viável para degradar polímeros, pois fornece um ambiente favorável para que fatores físicos, químicos e biológicos possam ser cumpridos[22]. Vale ressaltar que a composteira só é eficiente com o uso de plásticos que possam ser biodegradados. Para isso, deve-se realizar testes de desintegração e biodegradação e não gerar metabólitos tóxicos durante o processo[23].

5.4.2 SUBSTITUIÇÃO TOTAL DE PLÁSTICO DESCARTÁVEL POR UTENSÍLIOS REUTILIZÁVEIS

Os bioplásticos, a depender das condições de descarte, podem levar mais de 500 anos para se decompor[24] e gerar resíduos de microplásticos[25], semelhantemente aos plásticos convencionais. Além disso, muitos bioplásticos requerem condições específicas de compostagem industrial (como altas temperaturas e umidade controlada) para se degradarem adequadamente[26]. A degradação in-

21 Adriana Maria de Aquino, Arlene Maria Gomes Oliveira e Diego Canpana Loureiro, "Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos", *Circular Técnica Embrapa*, 2005, disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/596884/1/cit012.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

22 Demetres Briassoulis, Cyril Dejan e Pietro Picuno, "Critical review of norms and standards for biodegradable agricultural plastics part II: composting", *Journal of Environmental Polymer Degradation*, vol. 18, n. 3, pp.364-383, 2010. https://doi.org/10.1007/s10924-010-0222-z

23 Shakir Ali, Isha e Young-Cheol Chang, "Ecotoxicological impacto of bioplastics biodegradation: a comprehensive review", *Processes*, vol. 11, n. 12, 3445, 2023. https://doi.org/10.3390/pr11123445

24 Tatiana G. Volva *et al.*, "Degradation of bioplastics in natural environment", *Doklady Biological Sciences*, vol. 397, pp. 330-332, 2004. https://doi.org/10.1023/B:DOBS.0000039707.96839.33

25 Udara Piythilake *et al.*, "Exploring the hidden environmental polluiton of microplastics derived from bioplastics: a review", *Chemosphere*, vol .355, 141773, 2024. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141773

26 Wazir Aitizaz Ahsan *et al.*, "Biodegradation of different types of bioplastics through composting: a recent trend in green recycling", *Catalyst*, vol. 13, n. 2, 294, 2023. https://doi.org/10.3390/catal13020294

completa desses materiais pode liberar metano, um gás de efeito estufa 25 vezes mais potente que o CO_2, e contaminar solos e corpos d'água com partículas nocivas[27]. Portanto, sua classificação como sustentável é frequentemente questionada. Um exemplo é o PLA (ácido polilático), amplamente comercializado como compostável, porém testes mostraram que menos de 10% dele se degrada em composteiras domésticas[28].

Outra problemática atrelada ao uso de materiais descartáveis é a necessidade constante de matéria-prima e os elevados gastos energéticos relacionados à produção. Bioplásticos como o PLA e o PHA (polihidroxialcanoato), frequentemente promovidos como alternativas ecológicas, dependem de cultivos agrícolas intensivos como milho e cana-de-açúcar, competindo diretamente com a produção de alimentos e exigindo grandes quantidades de água, fertilizantes e terra arável[29]. Estima-se que a produção de 1 kg de PLA consuma até 2,7 kg de biomassa vegetal e 500 litros de água, além de demandar processos industriais energéticos (como fermentação e polimerização) que emitem até 30% mais CO_2 que a produção de plásticos convencionais[30]. Adicionalmente, a cadeia de suprimentos para esses materiais muitas vezes envolve transporte globalizado de matérias-primas, ampliando sua pegada de carbono[31]. Esses fatores revelam que, embora sejam derivados de fontes renováveis, os bioplásticos de uso único perpetuam um modelo insustentável de extração e consumo, distante da eficiência circular oferecida por materiais reutilizáveis.

Nesse contexto, a proposta sugere a substituição de todos os utensílios plásticos descartáveis da escola por opções reutilizáveis, incentivando uma cultura de reuso na escola. Os estudantes poderiam ser envolvidos na escolha dos utensílios e no processo de implementação.

Ao adotar copos, pratos e talheres duráveis, a escola transforma-se em um espaço educativo de práticas mais alinhadas à sustentabilidade, como visto sob

---

27 Nik Nurhidayu Nik Mut, Joorim Na e Jinho Jung, "A review on fate and ecotoxicity of biodegradable microplastics in aquatic system: are biodegradable plastics truly safe for the environment?", *Environmental Pollution*, vol. 344, 123399, 2024. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123399

28 Mehlika Karamanlioglu, Richard Preziosi e Geoffrey D. Robson, "Abiotic and biotic environmental degradation of the bioplastic polymer poly(lactic acid): a review", *Polymer Degradation and Stability*, vol. 137, pp. 122-130, 2017. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.01.009

29 Malco C. Cruz-Romero e Joe P. Kerry, "Crop-based biodegradable packaging and its environmental implecations", *CABI Reviews*, vol. 3, n. 74, pp.1-25, 2008. https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083074

30 Kushi Yadav e Ganesh Chandrakant Nikalje, "Comprehensive analysis of bioplastics: life cycle assessment, waste management, biodiversity impact, and sustainable mitigation strategies", *PeerJ*, 12:e18013, 2024. https://doi.org/10.7717/peerj.18013

31 Neus Escobar e Wolfgang Britz, "Metrics on the sustainability of region-specific bioplastics production, considering global land use change effects", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 167, 105345, 2021. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105345

a ótica dos 3Rs, cuja redução de resíduos é concreta, a reutilização vira hábito, e a reciclagem se limita ao que realmente não pode ser reaproveitado. Envolver os estudantes nessa transição, desde a escolha dos materiais até a organização dos pontos de lavagem, fortalece o senso de responsabilidade e pertencimento coletivo com o ambiente escolar. Além da eliminação de resíduos plásticos, essa iniciativa estabelece um legado pedagógico duradouro: prepara as novas gerações para a incorporação de práticas de consumo ambientalmente responsáveis em seu cotidiano.

5.5 PARA SABER MAIS

5.5.1 ESTÁ CHOVENDO MICROPLÁSTICOS! E AGORA?[32]

Partindo da problemática global dos plásticos e microplásticos, os autores do artigo descrevem intervenções pedagógicas realizadas no 3º ano do ensino médio de uma escola pública da Baixada Fluminense, Rio de Janeiro, integrando o tema ao ensino de química orgânica e polímeros. O estudo revelou que os alunos tinham conhecimento limitado sobre a origem e os impactos ambientais desses materiais, apesar de sua ubiquidade no cotidiano. Por meio de enquetes, aulas expositivas e rodas de conversa, foram introduzidos conceitos, como a matéria-prima dos plásticos (derivados do petróleo), a diferença entre plásticos e microplásticos, e estratégias de mitigação baseadas nos 3Rs (Reduzir, Reutilizar, Reciclar). Os resultados destacaram a abordagem interdisciplinar como promissora para a conscientização ambiental.

5.5.2 A PROMESSA DOS BIOPLÁSTICOS[33]

O artigo destaca o crescente interesse nos biopolímeros como alternativa sustentável aos plásticos convencionais derivados de petróleo. Apesar de representarem menos de 1% da produção mundial de plásticos, sua capacidade instalada cresceu 5% entre 2018 e 2019, alcançando 2,1 milhões de toneladas, com projeção de atingir 2,4 milhões em 2024.

---

32 Aline S. F. Azevedo e Marcelo H. Herbst, "Está chovendo microplásticos! E agora?", *Química Nova na Escola*, vol. 44, n. 2, pp.239-247, 2022. http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160314

33 Frances Jones, "A promessa dos bioplásticos", *Revista Pesquisa Fapesp*, abr. 2020, disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/a-promessa-dos-bioplasticos/. Acesso em 13 ago. 2025.

No Brasil, a Braskem destaca-se na produção de polietileno verde. No entanto, os bioplásticos ainda enfrentam desafios, como o alto custo e a falta de políticas públicas de incentivo. Especialistas enfatizam a importância de políticas públicas eficazes e investimentos em pesquisa e desenvolvimento para viabilizar a produção em larga escala e tornar os bioplásticos uma alternativa viável e competitiva no mercado.

CAPÍTULO 6

ESTUDO DE CASO: **DE OLHO NO ÓLEO**

HELAÍNY WANYESSY KENYA RODRIGUES SILVA CHAGAS[1]
THIAGO WEDSON HILARIO[2]
PABLLO ABREU ALVES[3]

Ontem, na Escola Municipal Luz do Saber, teve um rebuliço danado! No meio do turno de aulas todo prédio teve que ser esvaziado, pois ninguém aguentava a catingueira que tomou conta do lugar. Era criança chorando, professoras correndo de um lado para outro sem saber o que estava acontecendo, coordenadores ligando para os pais e motoristas de transporte escolar. Até a imprensa estava na porta da escola tentando descobrir o que estava acontecendo por lá!

Tudo porque a lanchonete da dona Joana, que fica em frente à escola, precisou chamar o serviço de desentupimento para limpar o encanamento de esgoto que estava totalmente entupido.

Aí já viu, chegou aquele caminhão estranho, barulhento, esticaram mangueiras bem grossas pela rua, o motor do caminhão fez diversos barulhos estranhos, até parecia que fazia força para sugar. Mas o pior foi quando abriram a caixa de gordura! Meu Deus! Parecia que tinham aberto a boca do inferno, de tanto que fedeu.

No outro dia, passado todo o caos, Ana Luiza, estudante do 5º ano, da turma da professora Alice, passou na dona Joana para comprar seu lanche e saber o que tinha ocorrido no dia anterior:

– Bom dia, dona Joana!

– Bom dia, minha Ana Lu! (como dona Joana apelidou a garota). O que vai querer *pra* hoje? A coxinha de frango com catupiry, de sempre? – perguntou ela, acostumada com a pequena clientela de estudantes que vinha diariamente até seu estabelecimento.

1 Doutoranda do Programa de Educação para Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

2 Doutorando do Programa de Educação para Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

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

– Eu vou querer sim, nem imagino ficar um dia sem comer a coxinha que a senhora faz. Mas o que eu estou curiosa mesmo é em querer saber o que aconteceu ontem. A senhora acredita que nem dormi direito pensando no que tinha ocorrido?

– Uai, não é que o esgoto da lanchonete entupiu! (disse dona Joana, com uma mão na cintura e a outra apontando para o fundo da lanchonete). Logo depois que vocês entraram para a aula fui preparar os quitutes que tanto gostam. Quando fui lavar a louça, começou a vazar água lá na caixa de gordura, esparramou aqui *pra* frente da lanchonete, começou a ficar com um cheiro ruim, e não consegui fazer com que a água fosse para o sistema de esgoto. Tive que chamar a empresa de desentupimento.

– Ahhhh, então aquele caminhão era *pra* desentupir?

– Sim, minha querida. Mas a situação estava tão feia que quando o moço foi abrir a tampa do sistema de esgoto, para inserir a mangueira de desentupimento, havia uma crosta de gordura que foi acumulando e se solidificou. O moço precisou fazer tanto esforço com o equipamento que… boom!… Foi aquele estouro que vocês ouviram. A válvula do tanque do caminhão não aguentou a pressão e deixou escapar a catinga que se espalhou para todo o quarteirão.

– Dona Joana, o que é que fez o esgoto entupir desse jeito? Meu pai vive reclamando que minha mãe o coloca *pra* desentupir o encanamento do esgoto todo fim de semana. Agora estou com medo de que isso também exploda lá em casa.

– O rapaz que veio desentupir disse que pode ter sido óleo de fritura que descarto após fritar os salgados daqui da lanchonete. Já que jogo no ralo da pia quando vou lavar a fritadeira.

Ana Luiza ficou espantada, de olhos arregalados, com a história que acabara de ouvir, mas como já estava na hora de entrar na escola, teve que sair correndo para não se atrasar. Em sua turma não havia outro tipo de comentários, a não ser a catingueira que tomou conta da escola no dia anterior. Uns falavam que era a turma do 5º ano D, que tinha soltado uma bomba de pum, outros disseram que era culpa do Eusébio, que prometeu levar ovos de ganso chocos para quebrar na cabeça do Miguel no dia do seu aniversário. E até tinha gente dizendo que aquilo foi ataque terrorista da turma da escola do bairro de baixo por terem perdido o campeonato de futebol entre escolas.

A professora Alice entrou na sala de aula e foi logo aquietando a turma e aproveitando o ocorrido para fazer com que as crianças apresentassem hipóteses factíveis. Na vez de Ana Luiza falar, ela fez questão de se levantar e dizer:

– Eu sei de toda a história! – disse toda orgulhosa, por ser a única que sabia a realidade dos acontecimentos, e narrou a conversa que acabara de ter com dona Joana. Inclusive contou que em sua casa também havia entupimentos constantes.

O que levou outras crianças a dizerem que em suas residências também ocorria isso.

A professora Alice, percebendo que o entupimento dos encanamentos com gordura era uma situação que não acontecia apenas na lanchonete de dona Joana, mas também na casa de seus alunos, logo notou que a comunidade possuía um problema relacionado ao descarte do óleo de cozinha. Isso a levou a envolver as crianças na investigação sobre a temática.

Você faz parte da turma da professora Alice e quer ajudá-la a apresentar pelo menos duas soluções quanto ao correto descarte do óleo de cozinha e argumentar a favor de uma delas.

6.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso aborda a necessidade de um descarte mais consciente do óleo de cozinha, também conhecido como óleo residual, englobando assim questões ambientais, econômicas, sociais e de logística, e tendo o potencial de promover discussões em diferentes componentes curriculares, como os que se relacionam com a química e a biologia.

A expressão "óleo de cozinha" é, na verdade, uma denominação dada para qualquer óleo vegetal ou animal comestível utilizado rotineiramente na fritura de alimentos e, em alguns casos, como acompanhamento ou no preparo de molhos. Os mais comuns são os de origem vegetal, como os derivados de azeitona, coco, milho, soja, amendoim, dendê, girassol e algodão. Além da alimentação, os óleos vegetais também estão presentes em materiais não alimentícios, podendo-se citar produtos de higiene e cosméticos, como sabonetes e perfumes, além de tintas, detergentes, lubrificantes e biocombustíveis[4].

Quimicamente, o óleo de cozinha é majoritariamente constituído de triacilgliceróis (ésteres de ácidos graxos e glicerol), fosfolipídios e esteróis. A depender do material vegetal de origem, como semente ou fruto, diferentes ácidos graxos podem ser encontrados, o que permite uma variedade de composição. O óleo de

4 Regina C. A. Lago, Ayresina T. B. de Castro e Maritza P. de Magalhães, "Composição de óleos de soja brasileiros 1. variedades procedentes de Goiás", *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 13, n. 2, pp. 1-5, 1978.

soja, que é o óleo de cozinha mais consumido do mundo, por exemplo, é rico em ácidos palmíticos, esteáricos, oleicos, linolênicos e linoleicos[5].

Para obter o óleo da soja, os grãos precisam ser inicialmente limpos, descascados e triturados, passando então para a etapa de cozimento, que aumenta a umidade dos flocos, rompe as paredes celulares e, consequentemente, aumenta a permeabilidade das membranas, permitindo a saída efetiva do óleo. Posteriormente, ocorre a extração propriamente dita, que pode ser mecânica, com o auxílio de prensas, por meio de solventes ou mista, integrando os dois métodos. O óleo bruto obtido por esse processo, tem ainda que passar por etapas de filtração e refinação, que visam remover substâncias indesejadas, como compostos inorgânicos, ácidos graxos livres, polímeros, clorofila, xantofila, carotenoides, proteínas e fosfatídeos. Com isso, é obtido um óleo refinado[6].

O óleo refinado costuma passar pela etapa de hidrogenação da gordura vegetal líquida, resultando em um produto mais consistente. Esse processo consiste em borbulhar hidrogênio em altas temperaturas na presença de um catalisador, o que permite um maior tempo de conservação do produto final[7]. Porém, isso faz com que as ligações duplas das moléculas que compõem o óleo sejam modificadas, formando o que é popularmente conhecido como gordura trans, que, ao ser consumida, favorece a obesidade e aumenta as chances de problemas cardíacos. Os nutricionistas indicam que esse tipo de gordura não seja consumido em nenhuma quantidade e que o valor de segurança é o equivalente à 1% do consumo diário de calorias[8].

Existem, portanto, preocupações com relação ao consumo de óleos vegetais e a saúde humana, já que eles estão entre os poucos alimentos permitidos que ainda possuem gorduras trans em sua composição. Além dessa questão de saúde, o óleo de cozinha pode gerar diversos impactos ambientais ao ser descartado de forma incorreta.

---

5 Rosemar Antoniassi e Sidinea Cordeiro de Freitas, "Composição das oleaginosas", *Embrapa Agroindústria de Alimentos*, 09 dez. 2021, disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/oleaginosas/composicao. Acesso em 16 ago. 2025.

6 José M. G. Mandarino e Antonio C. Roessing, "Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos", *Documentos/EMBRAPA 171,* 2001, disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/462866/1/doc171.pdf. Acesso em 16 ago. 2025.

7 Talita D. Barros e José G. Jardine, "Transesterificação", *EMBRAPA*, 08 dez. 2021, disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/tecnologia/transesterificacao. Acesso em 16 ago. 2025.

8 Agência Nacional de Vigilância Sanitária, "Publicada norma sobre gordura trans em alimentos", *Ministério da Saúde*, 03 nov. 2022, disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/publicada-norma-sobre-gordura-trans-em-alimentos. Acesso em 16 ago. 2025.

A maior parte da população, seja em preparos caseiros ou nos restaurantes, descarta o óleo de cozinha nas pias ou vasos sanitários. Essa é a pior opção economicamente e ambientalmente, sendo um dos principais impactos a retenção do óleo na forma de gordura dentro dos encanamentos. Isso ocorre pois o óleo resfria e passa a agregar diversos outros resíduos, formando uma substância pegajosa que se fixa nas paredes dos encanamentos. Com isso, extravasamentos de água podem ocorrer, como visto no caso aqui descrito, além de atrair pragas que podem causar doenças[9].

O entupimento dos encanamentos costuma ser resolvido com a aplicação de produtos químicos, que acabam por gerar contaminações. Esse esgoto com o óleo descartado e produtos químicos diversos não é 100% tratado nas estações responsáveis, fazendo com que os mananciais sejam contaminados. O óleo, por ser menos denso que a água, permanece na superfície dos corpos hídricos, impedindo a passagem de luz, o que atrapalha o processo de fotossíntese dentro dos corpos d'água e, consequentemente, acaba matando os animais marinhos por insuficiência de oxigênio dissolvido. Esses animais mortos contribuem para um aumento descontrolado de nutrientes que favorece o crescimento de cianobactérias e algas na superfície da água, diminuindo ainda mais a passagem da luz solar, o que resulta em um ciclo classificado como eutrofização[10].

Além do prejuízo aos corpos hídricos, o óleo pode se infiltrar no solo, tanto por meio do contato entre a água contaminada e as margens quanto pelo descarte direto feito no lixo comum, e poluir a atmosfera, já que a sua decomposição produz metano, um gás de efeito estufa. Quanto à infiltração, ela pode resultar na contaminação de plantas e microrganismos presentes no solo, além de poder impermeabilizar a superfície do solo, impedindo a passagem de água e nutrientes[11].

Com tudo isso, é evidente a necessidade de uma mudança na dieta humana, evitando o uso dos óleos vegetais, mas, considerando o cenário atual, é impossível que ele seja completamente abolido. Assim, medidas devem ser consideradas para que o seu consumo gere menores impactos na saúde humana e no meio ambiente.

As características do óleo de cozinha, a sua utilização no preparo de alimentos e os impactos ambientais gerados pelos descartes podem ser exploradas em

---

9 Departamento de Água e Esgoto do Município de Olímpia, "Óleo de Cozinha", *DAEMO*, 15 ago. 2025, disponível em: https://www.daemo.sp.gov.br/oleo-de-cozinha. Acesso em 16 ago. 2025.

10 Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, "Eutrofização", *Portal de Educação Ambiental do Governo do Estado de São Paulo*, 27 mai. 2025, disponível em: https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/eutrofizacao. Acesso em 16 ago. 2025.

11 Luis C. Zucatto, Iara Welle e Tania N. da Silva, "Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais", *Revista de Administração de Empresas*, vol. 53, n. 5, pp. 442–453, 2013. https://doi.org/10.1590/S0034-75902013000500003

aulas que envolvam processos químicos, nutrição humana, química de alimentos, química ambiental, agricultura e processos industriais. Ademais, as discussões que podem surgir a partir do estudo do caso estão de acordo com recomendações existentes nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química[12]. Nesse sentido, dentre as habilidades desejadas para o futuro profissional de química, pode ser citada a seguinte: "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).

As questões passíveis de serem suscitadas com base na aplicação do caso também podem ser facilmente aplicadas no ensino médio regular. Nessa situação, a aula pode ser voltada para orientações acerca do descarte correto ou reúso do óleo de cozinha, assim como promover a conscientização acerca da importância de evitar esse tipo de contaminação, indicando possíveis consequências e impactos ambientais. Além disso, conceitos químicos podem ser abordados por meio de discussões acerca da composição química do óleo, destacando que existem diversos óleos vegetais, e de explicações sobre o seu estado físico, desde o óleo bruto, passando pela hidrogenação catalítica e uso pela população, até o descarte.

Por fim, a Base Nacional Comum Curricular[13] chama a atenção para a discussão de questões ambientais e descarte consciente. A habilidade EM13CNT203, por exemplo, trata da capacidade de prever e avaliar os efeitos das intervenções antrópicas nos diversos ecossistemas, incluindo assim a compreensão dos mais variados mecanismos de ciclos de matéria e de manutenção da vida. Isso se encaixa na necessidade de discutir como o óleo pode ser descartado ou reutilizado, evitando contaminações ambientais. Da mesma forma, a habilidade EM13CNT105 destaca a análise da ciclagem de elementos químicos no meio ambiente e nos seres vivos, possibilitando a promoção de ações capazes de minimizar as consequências nocivas.

6.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Com base nos critérios elencados por Herreid *et al.*[14], o caso aqui apresentado pode ser considerado bom. Isso se deve, inicialmente, por ser curto, ocupando

12 Brasil, Ministério da Educação, "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química", disponível em: https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf. Acesso em 16 ago. 2025.

13 Brasil, Ministério da Educação, "Base Nacional Comum Curricular", disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em 16 ago. 2025.

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.

um pouco menos de duas páginas. Em sequência, a atenção do leitor precisa ser mantida no decorrer da narrativa, algo que é estimulado por meio da simplicidade da questão problema e sua fácil compreensão, além do caso fomentar a mobilização de diversos conhecimentos, como os que se relacionam à química ambiental.

O conflito, por sua vez, também é essencial na construção de um bom caso, estando presente com relação às opções viáveis no que diz respeito ao correto descarte do óleo de cozinha ou seu reúso. A narrativa do caso também ganha força ao ser capaz de gerar empatia por parte do leitor, algo que é possível a partir do uso de uma linguagem compreensível, de um protagonista facilmente identificável e da comicidade. Esta última pode ser observada com base no uso de palavras e expressões rotineiramente utilizadas na comunicação oral por parte do povo brasileiro, como "pra"; "catingueira"; "rebuliço"; "danado"; e "estouro".

No que diz respeito à relevância do tema, é importante contextualizar historicamente a relação das pessoas com o óleo vegetal. O uso de óleos e gorduras no preparo de alimentos teve início, segundo evidências arqueológicas, há dezenas de milhares de anos. O azeite de oliva, por exemplo, vem sendo preparado desde, no mínimo, 5000 a.C. Nas regiões que hoje fazem parte do continente americano, as sementes de girassol e amendoim eram torradas, moídas e fervidas de forma a possibilitar a extração do óleo. O mesmo acontecia na África, mas com sementes de dendê e coco. Atualmente, existem diversos tipos de óleos vegetais, cada um com a sua própria técnica de fabricação[15].

Desde então, a produção e o consumo de óleos vegetais vêm crescendo, algo motivado, dentre outros fatores, pela evolução tecnológica e mudanças nos sistemas produtivos. Esse aumento também acompanha uma mudança estrutural, acentuada entre 1970 e as duas primeiras décadas do século XXI, em que as dietas passaram a incluir cada vez mais produtos de origem animal e óleos de cozinha. Assim, o crescimento do setor de oleaginosas pode ser explicado como a culminância da combinação entre a demanda de óleos para o consumo humano e o aumento do consumo de alimentos de origem animal, o que favorece um maior uso de oleaginosas na ração animal[16].

Mesmo que em proporções diferentes, a referida tendência é observada em todas as regiões do mundo. Da mesma forma, cabe destacar que, além da cultura alimentar e dos interesses do agronegócio, o poder aquisitivo da população tam-

15 How It's Made, "How cooking oil is made", *Discovery Networks International*, 20 set. 2022, disponível em: https://www.discoveryuk.com/how-its-made/how-cooking-oil-is-made. Acesso em 16 ago. 2025.

16 Karina A. P. N. Pinheiro, "História dos hábitos alimentares ocidentais", *Universitas: Ciências da Saúde*, vol. 3, n. 1, pp. 173-190, 2005. https://doi.org/10.5102/ucs.v3i1.553

bém impacta na sua forma de se alimentar[17]. Por conta desse uso crescente, nas últimas décadas, expansões de terras plantáveis passaram a ocorrer ao redor do mundo, tendo destaque a soja na América do Sul e o dendê no sudoeste asiático, o que acaba gerando impactos ambientais, como o desmatamento de vegetações nativas[18].

No Brasil, o consumo de óleos vegetais é por volta de três bilhões de litros ao ano, sendo que a estimativa é que um a cada quatro litros seja descartado de forma incorreta[19] e somente 2,5% do total seja reciclado. Vale ressaltar que cada litro de óleo descartado na rede de esgoto contamina em média 20 mil litros de água. Além disso, o óleo descartado no esgoto comum gera entupimentos, como alertado pela concessionária responsável pela cidade do Rio de Janeiro, que precisou realizar 13 mil desentupimentos em um único ano[20].

Além de interesses comerciais, alimentícios e ambientais já destacados, o uso do óleo vegetal também é foco dentro de pesquisas da área da saúde. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura estima que, até 2050, os óleos vegetais representem um quantitativo de 38 calorias a cada 100 adicionais na dieta humana, sendo o principal responsável pelo aumento calórico do consumo alimentar.

Boa parte da contribuição calórica dos óleos vegetais é oriunda de gorduras saturadas que acabam favorecendo doenças cardíacas. Além disso, alguns óleos, como o de soja, são ricos em ômega-6, que pode causar inflamações no organismo humano[21]. Ao serem aquecidos, os óleos vegetais acabam liberando substâncias tóxicas, como radicais livres resultantes da degradação dos ácidos graxos. Essas substâncias podem favorecer doenças cardíacas, artrite e câncer. Porém, existem evidências de que a ingestão moderada de alguns óleos, como azeite de

17 Nikos Alexandratos e Jelle Bruinsma, "World agriculture: towards 2030/2050", *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, n. 12-03, 2006, disponível em: https://www.fao.org/4/ap106e/ap106e.pdf. Acesso em 16 ago. 2025.

18 Mariana S. Domingues e Célio Bermann, "O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja", *Ambiente & Sociedade*, vol. 15, n. 2, pp. 1–22, 2012. https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002

19 Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento, "O prejuízo do óleo de cozinha no meio ambiente", *AESBE*, 04 jun. 2020, disponível em: https://aesbe.org.br/o-prejuizo-do-oleo-de-cozinha-no-meio-ambiente. Acesso em 16 ago. 2025.

20 Jornal Nacional, "Descarte inadequado de óleo vegetal provoca imenso prejuízo nas redes de coleta de esgoto", *G1 Jornal Nacional*, 29 mai. 2023, disponível em: https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2023/05/29/descarte-inadequado-de-oleo-vegetal-provoca-imenso-prejuizo-nas-redes-de-coleta-de-esgoto.ghtml. Acesso em 16 ago. 2025.

21 Clayton A. Martin *et al.*, "Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos", *Revista de Nutrição*, vol. 19, n. 6, pp. 761–770, 2006. https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600011

oliva virgem e óleo de farelo de arroz, pode diminuir a quantidade de lipoproteínas de baixa densidade (LDL – conhecidas como "colesterol ruim") no sangue[22].

Em vista disso, fica claro que a temática em foco está intimamente atrelada com a forma como a agropecuária é conduzida ao redor do mundo e com a nutrição humana, algo que data desde os primórdios da civilização. Todos os apontamentos e discussões anteriores mostram como a utilização e o descarte do óleo vegetal são temas pertinentes, envolvendo áreas como agricultura, medicina, biologia, química, nutrição e ciências ambientais. Com isso, e dada a sua contemporaneidade, justifica-se a relevância do tema do caso.

6.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A inspiração para a produção do caso vem de um programa desenvolvido pela Companhia Saneamento de Goiás (Saneago), conhecido por "Olho no Óleo". O programa já é adotado nas cidades de Goiânia, Anápolis, Itumbiara, Morrinhos e Santa Helena[23].

O objetivo do programa é sensibilizar as pessoas sobre a importância de fazer um descarte correto do óleo de cozinha, evitando assim a contaminação de mananciais e a obstrução das redes de esgoto. Para isso, as pessoas são credenciadas em um sistema específico, diferenciando seus usuários entre pequenos geradores de óleo, que são os consumidores residenciais, e os grandes geradores, como bares, restaurantes e supermercados. Entre 2012 e 2021, o programa coletou por volta de 529 mil litros de óleo, que foram utilizados na produção de biodiesel.

6.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

O manejo inadequado do óleo descartado pode gerar muitos impactos, a depender do que é feito com ele. Queimar o óleo ao ar livre ou despejar no solo e nos corpos d'água são formas erradas de descarte, gerando uma menor disponi-

22 Poliana C. M. Freire, Jorge Mancini-Filho e Tânia A. P. C. Ferreira, "Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde", *Revista de Nutrição*, vol. 26, n. 3, pp. 353–358, 2013. https://doi.org/10.1590/S1415-52732013000300010

23 Companhia de Saneamento de Goiás, "Saneago estende Programa Olho no Óleo para a cidade de Santa Helena de Goiás", *SANEAGO*, 03 set. 2021, disponível em: https://www.saneago.com.br/#/noticia_interna/6525/3. Acesso em 16 ago. 2025.

bilização de oxigênio para plantas, a contaminação dos mananciais e um aumento da emissão de gases de efeito estufa, materiais particulados e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (COV)[24]. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, por exemplo, aponta propriedades e impactos semelhantes entre os óleos vegetais e os de origem petrolífera, ambos regulamentados pelo mesmo código de proteção ambiental[25].

Em vista das soluções possíveis para evitar o descarte incorreto do óleo de cozinha já utilizado, quatro opções se destacam: descarte consciente em ponto de coleta seletiva; produção de sabão caseiro; produção de velas decorativas; e produção de biodiesel.

6.4.1 DESCARTE CONSCIENTE EM PONTO DE COLETA SELETIVA

O descarte consciente do óleo pode ser feito por meio de etapas simples: esperar o óleo esfriar; filtrar por meio de um funil simples, de forma a remover partículas sólidas dos alimentos; e reservá-lo em uma garrafa de plástico. Com isso, esse óleo reservado pode ser entregue nas estações de coleta. A empresa Liza, por exemplo, disponibiliza, em seu site, locais de coleta do óleo a ser descartado[26].

Existem outros projetos no Brasil, como o já citado "Olho no Óleo", promovido pela Saneago e o "Óleo Sustentável"[27], iniciativa da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), que possui mais de 3744 postos de coleta em todo o território nacional. Essa reutilização, além de ser benéfica para o meio ambiente, representa uma vantagem econômica, já que parte da matéria-prima das empresas que fabricam biodiesel vem do óleo residual.

---

24 Allane P. S. da Paz *et al.*, "Presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em produtos alimentícios e a sua relação com o método de cocção e a natureza do alimento", *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 20, e2016102, 2017. https://doi.org/10.1590/1981-6723.10216

25 Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, "Vegetable Oils and Animal Fats", *EPA Website*, 28 jan. 2025, disponível em: https://www.epa.gov/emergency-response/vegetable-oils-and-animal-fats. Acesso em 16 ago. 2025.

26 Liza, "Liza responsável", disponível em: https://www.liza.com.br/sustentabilidade/reciclagem-de-oleo. Acesso em 16 ago. 2025.

27 Óleo Sustentável, "Programa de coleta de óleo de cozinha", disponível em: https://www.oleosustentavel.org.br/o-programa. Acesso em 16 ago. 2025.

6.4.2 SABÃO CASEIRO

A produção do sabão caseiro é uma forma de reciclagem em pequena escala, ou seja, que pode ser realizada por consumidores em suas residências utilizando o óleo oriundo dos preparos cotidianos. A produção de qualquer sabão se baseia no processo de saponificação, uma reação química sob aquecimento moderado entre óleos ou gorduras e uma base.

No caso do óleo vegetal, um éster de ácido graxo (triglicerídio), reage com uma base (normalmente hidróxido de sódio), produzindo glicerina e sabão, que, por sua vez, é um sal de ácido carboxílico, possuindo extremidades polares e apolares, sendo assim um composto anfifílico. A parte polar do sabão é formada pelo ânion carboxilato, possibilitando sua solubilidade parcial em água, enquanto a extremidade apolar é formada por cadeias carbônicas, o que permite a interação com óleo. Dessa maneira, o sabão é capaz de agir como surfactante, diminuindo a tensão superficial da água e formando micelas, estruturas esféricas nas quais a sujeira fica "aprisionada" em seus interiores, permitindo assim a limpeza de diversos materiais[28].

Uma das formas de preparar o sabão caseiro a partir do óleo residual é misturando por volta de 20 minutos os seguintes materiais: água quente; óleo residual filtrado; sabão em pó; e hidróxido de sódio[29]. O hidróxido deve ser o primeiro reagente disposto dentro do recipiente e depois a água deve ser adicionada aos poucos até dissolver toda a base. O óleo vem logo na sequência, sendo adicionado sob agitação constante. O sabão em pó, que pode ser substituído por desinfetante aromatizado ou óleos essenciais, tem a função de fornecer o aroma do sabão. Após esse preparo, o produto resultante deve ser armazenado em uma forma até que ele esfrie e fique com a consistência adequada.

Cabe ressaltar que, além de ser uma opção viável de ser feita nas residências, trata-se de uma solução economicamente e ambientalmente sustentável, diminuindo o impacto ambiental do óleo residual e ajudando na economia familiar, que pode diminuir a necessidade de comprar sabão em barra nas lojas e nos supermercados. Além disso, o engajamento popular é importante para que essa solução seja promovida, podendo-se destacar ações que já vêm sendo realizadas no Brasil, como é o caso da Associação Gota do Óleo (AGO). Fundada em 2016,

---

28 Lorena O. Felipe e Sandra C. Dias, "Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e desvantagens", *Química Nova na Escola*, vol. 39, n. 3, pp. 228-236, 2017. http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160079

29 Ana N. F. Mendes *et al.*, "Reaproveitamento do óleo de fritura para fabricação de sabão: método alternativo para promover uma conscientização ambiental e aumentar a renda de comunidades carentes do município de São Mateus/ES", *Revista Guará*, n. 2, pp. 5-13, 2014. https://doi.org/10.30712/guara.v2i2.9823

na cidade Eunápolis, Bahia, a AGO realiza a coleta seletiva de materiais recicláveis, o que inclui o óleo de cozinha, usado na produção de sabão, reciclando em média dois mil litros por mês[30].

6.4.3 VELAS DECORATIVAS

A produção de velas caseiras, assim como no caso do sabão, é uma forma de reutilização do óleo que pode ser feita em qualquer residência, permitindo também uma renda extra, seja utilizando a vela ou vendendo-a. Um dos procedimentos possíveis para a fabricação da vela se baseia no uso dos seguintes materiais: óleo usado filtrado; estearina (ácido esteárico); barbante; e corante. Inicialmente, a estearina e o óleo são aquecidos juntos até derreter totalmente, passando então para a adição do corante, que fica a gosto de cada pessoa[31]. É possível que a coloração seja dada por meio do uso de giz de cera, que precisa derreter após ser adicionado.

O barbante pode ser fixado no recipiente por meio de um palito e a mistura já derretida é adicionada ao seu redor. Após esfriar a vela já está pronta para o uso. Caso o usuário queira que a vela apresente aromas, é possível adicionar na mistura óleos essenciais ou outras perfumarias. Todos esses materiais podem ser facilmente encontrados, sendo a estearina o menos difundido, mas que pode ser comprado em lojas de produtos químicos. A estearina, ou ácido esteárico, é um ácido graxo saturado com uma cadeia de 18 carbonos, apresentando-se assim em estado sólido, e que é comumente utilizado na fabricação de velas para dar mais consistência e permitir uma queima prolongada.

Como essa vela não é produzida com o uso de parafina, uma substância derivada do petróleo, ela é considerada ecológica, tendo baixo impacto ambiental, além de poder ser utilizada para decoração, cerimônias, meditação, encontros sociais e finalidades comerciais. Ademais, a eficiência de velas produzidas com o óleo reciclado é relatada por Martinelli e Silva[32], que realizaram testes com diferentes proporções e chegaram em um resultado que indica, como opção mais viável para produções mais efetivas de velas em larga escala, a combinação de 57% de cera vegetal de soja com 38% de óleo vegetal e 5% m/m de essência (nesse caso,

30 Janaina Fialho, *et al.*, "Informação ambiental para o desenvolvimento sustentável: coleta seletiva solidária de materiais recicláveis pela Associação Gota do Óleo (AGO) de Eunápolis, BA", *Encontros Bibli*, vol. 28, e89667, 2023. https://doi.org/10.5007/1518-2924.2023.e89667

31 Priscilla C. S. Rodrigues *et al.*, "Técnicas de reciclagem de óleo residual de fritura: ressignificando a produção de sabão e vela", *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, n. 6, pp. 64187–64197, 2021. https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-684

32 Cristina Martinelli e Camila da Silva, "Reutilização de óleo residual de fritura para produção de velas aromatizadas", *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, vol. 13, n. 1, pp. 66-85, 2024. https://doi.org/10.59306/rgsa.v13e12024e12536

de citronela). Assim, existe um potencial para esse tipo de reúso ao se pensar em um maior engajamento da comunidade.

6.4.4 BIODIESEL

Biodiesel é o produto da reação entre gordura animal ou vegetal e álcool, conhecida como transesterificação. Assim, os triglicerídeos reagem com um álcool primário, como metanol e etanol, resultando em ésteres monoalquílicos, sendo o caso dos ésteres de metila e de etila. No Brasil, as principais matérias-primas são os óleos de soja, milho, girassol, dendê e amendoim, podendo ser utilizados os óleos residuais[33].

O biodiesel é também uma opção para substituir os combustíveis fósseis, gerando menos contaminantes e tendo um bom aproveitamento energético. É um combustível biodegradável, renovável e não corrosivo, além de não produzir compostos derivados de enxofre. Atualmente, os motores dos automóveis podem receber diferentes combustíveis com base em biodiesel, como o B100 (biodiesel puro), o B20 (mistura com petróleo) e os que utilizam biodiesel somente como aditivo (B1 a B5, que representam entre 1 e 5%)[34].

Uma parte da matéria-prima para a produção de biodiesel vem da agricultura, podendo-se destacar a atividade familiar. Dessa forma, fica claro que não são necessárias expansões nos hectares plantados, sendo interessante portanto investir em fontes complementares, como a agricultura familiar e a reciclagem do óleo residual. Nesse contexto, o Brasil incentiva essa participação dos pequenos produtores por meio da Política Nacional de Biocombustíveis, que, dentre outros aspectos, apoia a produção de matérias-primas para o biodiesel por parte da agricultura familiar[35].

Em concordância com o que foi mencionado anteriormente, estudos indicam que a cada 1% de participação da agricultura familiar no mercado de biodiesel, seria possível gerar cerca de 45 mil empregos, o que demonstra o impacto desse tipo de investimento na vida da população[36]. Já no que diz respeito ao uso do óleo de cozinha usado, segundo a ABIOVE, mais de 101 milhões de litros de óleo

---

33 Talita D. Barros e José G. Jardine, "Biodiesel", *EMBRAPA*, 08 dez. 2021, disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel. Acesso em 16 ago. 2025.

34 Eduardo Cesar, "Biodiesel no tanque", *Revista Pesquisa FAPESP*, n. 94, dez. 2023, disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/biodiesel-no-tanque/. Acesso em 16 ago. 2025.

35 Brasil, Presidência da República, "Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017", disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em 16 ago. 2025.

36 Agência Senado, "CRA pode votar incentivo para agricultores familiares produzirem biocombustíveis", *Senado Notícias*, 13 mai. 2024, disponível em: https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/05/13/cra-pode-votar-incentivo-para-agricultores-familiares-produzirem-biocombustiveis. Acesso em 16 ago. 2025.

de residual de fritura foram utilizados na produção de biodiesel, no Brasil, em 2024[37]. Assim, fica claro o quanto o setor vem investindo nessas fontes alternativas de material para produção de biodiesel.

Dentre as formas de reutilização do óleo residual em larga escala, a mais utilizada mundialmente é a produção do biodiesel[38]. Para que o óleo residual seja utilizado para esse fim ele precisa passar por um pré-tratamento, que, normalmente se baseia em filtração para remoção de partículas sólidas. Porém, em alguns casos, o aquecimento e a filtração a vácuo são necessários para remover outras substâncias indesejadas na transesterificação alcalina. Vale ressaltar que, no Brasil, o uso do óleo residual na produção de biodiesel vem crescendo, podendo-se destacar a utilização de 148 milhões de litros em 2022, 30% a mais que no ano anterior[39].

Em vista das soluções apresentadas, somente uma delas trata do descarte consciente enquanto as outras são formas de reutilizar o óleo residual. Dessa forma, fica claro que o descarte consciente pode ser feito junto das formas de reúso. Por ser mais fácil e prático para o cotidiano, o descarte responsável é a melhor opção. Porém, considerando as formas de reutilização, a mais indicada para ser feita nas residências é a do sabão caseiro, por ser simples, rápida, apresentar poucos riscos e ter diversas aplicações, incluindo uso próprio. Levando em conta a produção em larga escala, o biodiesel é a opção mais viável, por promover fontes de matérias-primas alternativas, já ser amplamente utilizado no setor industrial e possuir um sistema consolidado.

6.5 PARA SABER MAIS

6.5.1 REUTILIZAÇÃO DE ÓLEOS DE COZINHA NA PRODUÇÃO DE SABÃO: UMA ABORDAGEM TEMÁTICA POTENCIALIZADORA DO ENSINO DE QUÍMICA[40]

O artigo aborda o consumo do óleo vegetal no Brasil, assim como o seu descarte e potencial de reutilização. Além da contextualização do tema, os autores

37 Associação Brasileira das Indústrias de óleos vegetais, "Sobre o biodiesel", *ABIOVE*, disponível em: https://abiove.org.br/biodiesel/sobre. Acesso em 16 ago. 2025.

38 Amit Kumar *et al.,* "Valorization of used cooking oil: challenges, current developments, life cycle assessment and future prospects", *Discover Sustainability*, vol. 6, n. 119, 2025. https://doi.org/10.1007/s43621-025-00905-7

39 Estadão Conteúdo. "Uso de óleo de cozinha usado para biodiesel avança 30% e bate recorde em 2022", *Época Negócios*, 17 mar. 2023, disponível em: https://epocanegocios.globo.com/sustentabilidade/noticia/2023/03/uso-de-oleo-de-cozinha-usado-para-biodiesel-avanca-30-e-bate-recorde-em-2022.ghtml. Acesso em 16 ago. 2025.

40 Gabriel B. Zanella, Shirani K. Haraguchi e Adriano A. Silva, "Reutilização de óleos de cozinha na produção de sabão: uma abordagem temática potencializadora do ensino de química", *Scien-*

chamam a atenção para o potencial pedagógico de atividades didáticas baseadas na produção de sabão caseiro a partir do óleo de cozinha usado.

6.5.2 UMA VISÃO MULTI E INTERDISCIPLINAR A PARTIR DA PRÁTICA DE SAPONIFICAÇÃO[41]

O artigo propõe e discute uma metodologia experimental simples de saponificação, destacando como perguntas norteadoras podem ser aplicadas para que a atividade seja capaz de promover a aquisição de conhecimentos relacionados à química, biologia, estatística e matemática.

tia Naturalis, vol. 7, n. 1, pp. 341-363, 2025. https://doi.org/10.29327/269504.7.1-26

41 Roger Borges *et* al., "Uma visão multi e interdisciplinar a partir da prática de saponificação", *Química Nova na Escola*, vol. 43, n. 3, pp. 305-314, 2021. http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160255

CAPÍTULO 7

ESTUDO DE CASO: **PEIXE TAMBÉM MORRE AFOGADO?**

ADRIANA GRULI DE MELO[1]
GIOVANE SANTOS DOS REIS[2]
RAFAEL CAVA MORI[3]

No início do mês de dezembro, a população de Química Valley foi surpreendida com o aparecimento de peixes mortos no lago Sorensen. Alguns moradores responsabilizaram a indústria química recentemente instalada nas redondezas, por possivelmente estar descartando seus resíduos no lago.

Outras hipóteses foram levantadas. Enquanto o prefeito Gregório Ernesto Stein sugeriu que os peixes morreram por falta de oxigênio, a vice-prefeita, Maria Curi, apontou a contaminação por metais pesados – chumbo, polônio, cádmio e mercúrio – como possível causa da morte dos pobres seres aquáticos. Já Érick Schroder, proprietário de uma clínica veterinária especializada em gatos, fez uma suposição um tanto inusitada: realmente os peixes estariam mortos, ou isso seria algum mecanismo de defesa para evitar predadores?

Os fiscais ambientais Augusto Arrhenius e Gilberto Lewis constataram, em uma inspeção rotineira, o grande uso de agrotóxicos pelos produtores locais. Isso talvez tenha alterado propriedades físico-químicas (como a turbidez e o pH) da água que escoa para o reservatório, acarretando a morte dos peixes.

Antônio Lavoise, clérigo da cidade, por sua vez, discursando na paróquia Saint Chemistry, insinuou que os peixes não estariam mortos, apenas estavam passando por um processo de mutação – lembrando, em seu sermão, que "nada se cria e nada se perde, tudo se transforma". Com outra explicação mirabolante, Miguel Farad, trovador da cidade, compôs uma canção cuja letra dizia que os peixes morreram eletrocutados pelos raios e relâmpagos de dias atrás.

1 Mestranda 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 Docente na Universidade Federal do ABC.

Diante de tantas explicações e dúvidas, Lucas Paulino, jornalista investigativo da cidade, deu início a uma busca para desvendar o mistério. Ele começou entrevistando o gerente de processos da indústria química local, João Dalton.

– Senhor João Dalton, estamos curiosos: qual a especialidade da indústria?

– Nossa empresa é uma siderúrgica especializada na fundição de ligas metálicas. A produção envolve a fusão de diferentes metais para criar ligas com propriedades específicas, atendendo às demandas de diversos setores industriais.

– Ótimo! E o senhor poderia nos explicar um pouco mais sobre os processos? São gerados resíduos?

– Bem, primeiro, aquecemos os metais até se tornarem líquidos, e então os misturamos para criar a liga desejada. A seguir, vem o resfriamento, controlando a solidificação dos metais e a formação da estrutura da liga. Os resíduos sólidos são encaminhados para reciclagem, sempre que possível. Já os resíduos químicos são tratados de acordo com as normas estabelecidas, utilizando métodos seguros de neutralização. É devolvida ao lago apenas a água de resfriamento.

Prosseguindo com a investigação, Lucas Paulino solicitou o parecer de um químico, que deveria analisar o caso com base nas informações prestadas e nas hipóteses levantadas.

Imagine que você é o químico responsável pela análise do caso de morte dos peixes do lago Sorensen. Aponte as duas hipóteses mais prováveis, dentre as indicadas pelos moradores, e as contraponha às demais.

7.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

Como ocorre com outros casos desta coletânea, a presente proposta aborda um tema ambiental, tendo como evento central o súbito aparecimento de peixes mortos, no grande reservatório aquático de uma cidade. Embora haja várias hipóteses que possam explicar esse possível desastre ambiental, há um direcionamento para que se explore a possibilidade de poluição aquática, pelo descarte inadequado de resíduos industriais. Assim, para o uso do caso na graduação em química, é necessário inseri-lo na abordagem de conteúdos referentes ao meio ambiente e/ou aos resíduos químicos.

O componente curricular Química Ambiental reúne essas características. Geralmente, ele apresenta como objetivo principal conduzir a uma compreensão do meio ambiente a partir dos ciclos biogeoquímicos, destacando as distinções

entre processos naturais e antropogênicos. Também visa avaliar os impactos das atividades humanas sobre os ecossistemas, fornecendo uma visão geral das características físicas e químicas dos vários componentes ambientais (atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera). Por fim, o curso, conforme sua oferta em diversas Instituições de Educação Superior (IES), fornece uma introdução aos processos de controle da poluição.

Abordado nesse contexto, o caso dos peixes mortos pode integrar o estudo dos ciclos biogeoquímicos, da poluição e dos impactos ambientais com causas antropogênicas, considerando a hipótese do descarte inadequado de resíduos industriais no lago Sorensen. A análise das teorias levantadas pelos moradores seria realizada à luz desses conhecimentos, enquanto a entrevista com o gerente da indústria poderia inspirar os estudantes a buscar mais informações sobre o tratamento de resíduos. Assim, o caso conduziria os alunos a investigar episódios de impacto ambiental complexos e propor formas de prevenir eventos similares.

Outro componente curricular capaz de abranger o caso, na graduação em química, é Resíduos Químicos. Ofertado com nomes diversos (Introdução ao Gerenciamento de Resíduos Químicos, Tratamento de Resíduos Químicos, Resíduos Químicos: Coleta, Tratamento e Descarte, entre outros), este frequentemente compõe o rol de componentes para a integralização da ênfase em química ambiental, mas algumas IES o propõem como obrigatório para todos os estudantes. Em geral, as aulas de Resíduos Químicos têm como objetivo fornecer visão introdutória sobre a geração de resíduos por centros de pesquisa e indústrias químicas, destacando normas e legislações relevantes, além de apresentar modelos para gerenciar certos efluentes com um mínimo de impacto ambiental.

Ao se debruçar sobre o caso à luz desses conhecimentos, os alunos seriam incentivados a avaliar criticamente as práticas da indústria local em relação ao tratamento de seus resíduos químicos, identificar possíveis lacunas ou áreas de melhoria, nesses tratamentos, e propor soluções para prevenir incidentes semelhantes no futuro. Outras hipóteses levantadas pelos personagens do caso, por exemplo, a possibilidade de contaminação do reservatório por agrotóxicos, também poderiam ser examinadas à luz de conteúdos trabalhados em Resíduos Químicos, considerando-se as relações entre tais conhecimentos e a área de ecotoxicologia[4].

Seja no componente Química Ambiental, seja no componente Resíduos Químicos, o caso deve ser abordado a partir de uma visão sistêmica, que considere o ambiente enquanto uma totalidade dinâmica, composta por elementos bióticos e abióticos que interagem de forma complexa. Esse tipo de enfoque favorece a

4 Wei Zhou, Mengmeng Li e Varenyam Achal, "A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage", *Emerging Contaminants*, vol. 11, n. 1, 100410, 2025. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410

superação das concepções meramente conservacionistas, avançando para uma educação ambiental crítica – que considera devidamente as intrincadas relações entre a natureza e a prática social, esta, determinada pela forma como o homem produz continuamente sua existência[5].

O caso pode contribuir também para a apropriação de conhecimentos para além daqueles preconizados nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química[6]: sobre a legislação industrial e ambiental, sobre saneamento e sobre políticas sociais. Como já afirmado, na narrativa apresentada, a retórica envolvida busca chamar a atenção para o descarte dos resíduos químicos e para o seu tratamento por parte das indústrias, o que é normatizado por diversos dispositivos. Dessa maneira, o conhecimento de legislação industrial e ambiental, mesmo que não tão aprofundado, permeia o caso, sendo fundamental para que os alunos elaborem suas posições no processo de resolução.

A questão do saneamento também é tangenciada pelo caso, contribuindo para que os discentes reflitam sobre como a química se relaciona com esse direito garantido por lei, mas não desfrutado por todos. Finalmente, por tratar de uma comunidade que direta ou indiretamente é afetada pela mortandade dos peixes no reservatório aquático, possivelmente devido à atividade industrial, o caso convida os estudantes a ponderarem sobre as políticas que devem mediar as relações entre o modo de produção e o usufruto dos recursos naturais.

Prevê-se, também, a aplicação do caso no ensino médio, desde que devidamente adaptado para atender às necessidades e níveis de compreensão dos alunos desse nível. Algumas possíveis adaptações incluem:

– Simplificação da linguagem e dos conceitos, com a escolha de palavras mais simples e claras, evitando termos científicos complexos. Além disso, é essencial explicar os conceitos mais difíceis de forma acessível, utilizando exemplos concretos para ilustrar os pontos abordados;

– Redução das hipóteses, selecionando-se apenas aquelas mais relevantes, colaborando para uma investigação mais linear, e direta, da situação apresentada no caso. Em outras palavras, deve-se dirigir os alunos para que evitem desperdiçar tempo com as hipóteses que a própria narrativa considera mirabolantes;

– Foco em temas e conceitos-chave, por exemplo, poluição ambiental, impactos humanos sobre o ambiente e responsabilidade ambiental das empresas;

– Emprego de atividades práticas e investigativas, como coleta de amostras de água e simulações de tratamento de resíduos. Diferentemente do que ocorre na educação superior, o ensino de química em nível básico dificilmente contempla a

5 Genebaldo Freire Dias, *Educação ambiental: princípios e práticas,* São Paulo, Gaia, 2006.

6 Brasil, Ministério da Educação, "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química", disponível em: https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf. Acesso em: 01 ago. 2025.

vivência em laboratório, e o estudo de caso pode se constituir em uma excelente oportunidade para apresentar aos educandos, ainda que de modo introdutório, essa importante faceta da química;

– Discussão guiada, orientando os alunos a conectarem devidamente os conceitos abordados no caso com conhecimentos prévios, ao mesmo tempo, desenvolvendo uma consciência ambiental iluminada por preceitos éticos;

– Maior atenção aos recursos didáticos, valorizando o emprego de meios visuais, como gráficos, imagens e vídeos, e tecnologias digitais.

Na educação básica ou na superior, não se pode perder de vista o conjunto de conteúdos científicos passíveis de serem desenvolvidos com o estudo de caso, por meio de seus principais temas. Destes, o mais notório, desde as primeiras linhas da narrativa sobre Química Valley, é o tratamento da água, que propicia a abordagem de diversos conhecimentos: importância da água para a vida, usufruto desse bem natural pelo ser humano, características físico-químicas e tratamento hídrico, entre outros. O estudo de ecossistemas aquáticos também é incentivado pelo caso, apesar de mais associado às ciências biológicas.

Na verdade, o problema detectado no lago Sorensen demonstra, como já exposto nesta seção, que o ambiente é um todo, complexo e dinâmico, cujos elementos podem ser analisados por variados campos do conhecimento. Por último, mas não menos importante, há a questão do descarte e tratamento de resíduos químicos, sendo que o caso favorece que os estudantes conheçam suficientemente suas etapas, desde a deposição, passando por sua separação (entre líquidos e sólidos, orgânicos e inorgânicos), processamento químico e, quando for o caso, incineração. Os alunos podem vir a investigar, também, os efeitos dos resíduos químicos nos seres e no ambiente, aproximando-se da área de toxicologia ambiental.

7.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Herreid *et al.*[7] levantaram critérios cujo cumprimento caracteriza um caso como sendo bom. O critério mais essencial, de acordo com a pesquisa dos autores, é o estímulo ao pensamento crítico. Na seção anterior, mostrou-se como o caso pode contribuir para isso, já que a narrativa aborda uma questão ambiental complexa. Isto é, sua compreensão requer mais que o emprego superficial de alguns poucos conceitos químicos: pelo contrário, exige o entendimento de um

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.

contexto mais amplo, atravessado por aspectos sociais e diversos pontos de vista – estes, representados pelos vários personagens que povoam a estória.

Um bom caso deve não apenas contar um evento, mas possuir personagens que desenvolvam adequadamente a linha narrativa. O caso do lago Sorensen cumpre esse critério, apresentando uma miríade de personagens, propositadamente nomeados em referência a personalidades da história da química. Na verdade, deve-se reconhecer que esses sujeitos são retratados quase de forma caricaturizada. Para citar um exemplo, um dos personagens é Antônio Lavoise, apresentado como o clérigo da cidade, e que prega um conhecido aforismo, atribuído à figura real que o inspirou, Lavoisier: "nada se cria e nada se perde, tudo se transforma"[8]. Ora, sabe-se que o autor do *Tratado elementar de química* não cunhou nem comprovou esse que se tornou praticamente um *slogan*; antes, o tomou como pressuposto[9]. Isso talvez mereça ser comentado pelo docente, quando da exposição do caso aos estudantes.

Outra caraterística de um bom caso é ser realista. De fato, o aparecimento de enormes quantidades de peixes mortos, em reservatórios aquáticos, é uma triste realidade, como será visto na próxima seção, em que são comentadas as fontes de inspiração para o caso. A investigação necessária para determinar a causa da morte dos peixes estimula os alunos a coletar e examinar evidências, desenvolvendo habilidades de pesquisa, análise e raciocínio quantitativo, o que também contribui para caracterizar este como um bom caso.

A presente proposta levanta dilemas éticos importantes, relacionados à responsabilidade ambiental das empresas e aos impactos humanos sobre o meio ambiente. Isso, somado ao mistério em torno da morte dos peixes e à variedade de hipóteses apresentadas, cativa os alunos, mantendo seu engajamento e convidando-os a um envolvimento com a narrativa e os personagens. Por fim, observa-se que o caso é curto, não se estendendo por muitas páginas, o que também o qualifica positivamente.

Com relação à contextualização do caso, e considerando que sua resolução envolve analisar a hipótese da atuação ambientalmente reprovável de uma indústria, deve-se lembrar que a gestão adequada dos resíduos químicos é crucial para prevenir danos ao ambiente e à saúde pública. Sendo gerados em diversas atividades, como processos industriais, laboratoriais, agrícolas e mesmo em residên-

8 Caroline Morato Fabricio, *A abordagem histórica e filosófica da ciência nos livros didáticos de química – PNLEM/2008 e PNLD/2012: um estudo sobre a combustão no século XVIII*, dissertação de mestrado, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2014.

9 Antoine-Laurent Lavoisier, *Tratado elementar de química*, São Paulo, Madras, 2007.

cias, eles contêm substâncias que, se não tratadas e descartadas adequadamente, geram impactos seríssimos, tanto ambientais quanto sociais[10].

Entre os impactos ambientais, podem ser mencionadas as contaminações do solo, da água e do ar. A contaminação do solo pode comprometer sua fertilidade e prejudicar a vegetação, o que, por sua vez, repercute nos equilíbrios ecológicos, nos ciclos biogeoquímicos e até na regulação térmica do ambiente. A poluição aquática – causada por resíduos contendo substâncias como metais pesados, produtos químicos industriais e resíduos de pesticidas – pode afetar a qualidade da água para consumo humano e animal, afetando diretamente a biodiversidade e o equilíbrio dos ecossistemas. Já a relação entre resíduos químicos e poluição do ar pode se dar por duas vias, a do descarte inadequado e a do tratamento inadequado, levando à atmosfera gases e partículas que podem desencadear sérios riscos à saúde, como doenças crônicas e distúrbios respiratórios.

Já os impactos sociais ou socioambientais, e aqui comentamos apenas o caso da poluição aquática, não são menos preocupantes. A contaminação dos recursos hídricos pode comprometer a segurança alimentar de comunidades que dependem da pesca e da aquicultura. Além disso, pode provocar problemas de saúde graves na população, como doenças crônicas, intoxicações e distúrbios neurológicos.

O tratamento dos resíduos químicos é uma etapa fundamental para reduzir sua toxicidade e minimizar tais impactos[11], podendo envolver: a neutralização, com a adição de substâncias para tornar os resíduos menos nocivos; a incineração, utilizada para destruir os resíduos por meio de altas temperaturas, transformando-os em cinzas e gases; a reciclagem, que busca reutilizar materiais presentes nos resíduos, reduzindo sua quantidade em massa; e o encapsulamento, que consiste em confinar os resíduos em materiais seguros, evitando sua dispersão no ambiente.[12]

A legislação ambiental, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Lei de Crimes Ambientais, estabelece diretrizes para o gerenciamento adequado dos resíduos químicos. Essas leis impõem penalidades para o descarte irregular de resíduos e incentivam a adoção de práticas sustentáveis para sua gestão. Mas,

---

10 Nelson Gouveia, "Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social", *Ciência & Saúde Coletiva,* vol. 17, n. 6, pp. 1503-1510, 2012. https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014

11 Leny Borghesan A. Alberguini, Luis Carlos Silva e Maria Olímpia Oliveira Rezende, "Laboratório de resíduos químicos do campus USP-São Carlos: resultados da experiência pioneira em gestão e gerenciamento de resíduos químicos em um campus universitário", *Química Nova*, vol. 26, n. 2, pp. 291-295, 2003. https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000200026

12 Maurina de Jesus Santos *et al.*, "Os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos sólidos", *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental,* 2024, disponível em: https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/f99fe96f-d848-4bcb-8581-c64904aa6dbd/content. Acesso em 01 ago. 2025.

para além dos aspectos coercitivos do âmbito legal, é importante promover a conscientização e a educação ambiental sobre a importância de práticas adequadas quanto aos resíduos químicos. Isso inclui a capacitação de gestores de empresas e da população em geral sobre tais práticas para o tratamento e descarte de resíduos. O investimento em tecnologias limpas e em processos que reduzam a geração de resíduos também é fundamental para mitigar os impactos negativos dos resíduos químicos.

Em suma, a gestão adequada dos resíduos químicos é essencial para garantir um ambiente saudável e sustentável. A adoção de medidas como o tratamento adequado dos resíduos, o cumprimento da legislação ambiental e a conscientização da população são fundamentais para minimizar seus impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública.

7.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

Embora o aparecimento de peixes mortos, em reservatórios aquáticos como o lago Sorensen, tenha se tornado um fenômeno recorrente, o caso é diretamente inspirado em duas ocorrências, registradas em matérias jornalísticas recentes.

O primeiro evento[13] foi o súbito aparecimento, em setembro de 2024, de cerca de 500 kg de peixes mortos nas margens da represa Billings. Localizada na Região Metropolitana de São Paulo, ela está situada proximamente às cidades do Grande ABC, onde há grande atividade industrial.

O outro acontecimento[14] foi registrado em 2025, também no estado de São Paulo, dessa vez, no Ribeirão Fartura. Braço do Rio Tietê, esse corpo d'água é utilizado por piscicultores, que foram surpreendidos com a morte de aproximadamente 30 toneladas de tilápias.

13 Yasmin Oliveira, "Governo de SP retira 500 kg de peixes encontrados mortos na represa Billings", *CNN Brasil*, 12 set. 2024, disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/governo-de-sp-retira-500-kg-de-peixes-encontrados-mortos-na-represa-billings. Acesso em 01 ago. 2025.

14 Igor de Paiva, "Rio que corta estado de SP amanhece verde e com 30 toneladas de peixes mortos", *Diário do Litoral*, 20 mar. 2025, disponível em: https://www.diariodolitoral.com.br/cotidiano/rio-que-corta-estado-de-sp-amanhece-verde-e-com-30-toneladas-de-peixes/192857. Acesso em 01 ago. 2025.

7.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

De todas as hipóteses atribuídas aos personagens do caso, duas delas são as mais verossímeis, estando relacionadas à modificação da temperatura da água do lago Sorensen e ao aumento de sua acidez. Apesar disso, serão comentadas, também, algumas das outras possibilidades imaginadas pelos moradores de Química Valley.

7.4.1 MODIFICAÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA

A primeira solução a ser considerada para o caso tem a ver com a temperatura da água do lago Sorensen. Ela se relaciona com a hipótese aventada pelo prefeito da cidade, Gregório Ernesto Stein, que atribuiu a morte dos peixes à baixa oxigenação da água, a chamada hipóxia.

Realmente, há uma faixa de temperaturas, para a água, considerada adequada para sustentar a vida aquática. Se a temperatura da água estiver acima dessa faixa, a concentração de oxigênio dissolvido diminui e se torna menos disponível para o processo de respiração; por conseguinte, os peixes e toda a vida marinha podem morrer[15].

A concentração de oxigênio dissolvido costuma ser expressa em mg/L, podendo também ser registrada em porcentagem de saturação, isto é, quantidade de oxigênio contido em 1 L de água, considerando o nível total de oxigênio que ela pode reter naquelas condições de temperatura e pressão atmosférica. Para a análise do caso, deve-se ater aos dados abaixo[16]:

– Considera-se adequado que, em águas naturais e ao nível do mar, a concentração de oxigênio esteja em torno de 8 mg/L, a 25ºC;

– Exposições prolongadas a concentrações abaixo de 5 mg/L podem não matar alguns organismos presentes, porém, aumentam sua susceptibilidade ao estresse;

– Exposição abaixo de 2 mg/L ocasiona a morte da maioria dos organismos. No entanto, algumas espécies mais rústicas e tolerantes, como *Oreochromis sp* (tilápia), podem ser mais resistentes a esse nível de hipóxia.

Na narrativa apresentada, a indústria se localiza às margens do lago e descarta seus efluentes diretamente nele. Por se tratar de uma indústria siderúrgica, que

15 Ulisses Simon da Silveira, Priscila Viera Rosa Logato e Edivânia da Conceição Pontes, "Fatores estressantes em peixes", *Revista Eletrônica Nutritime*, vol. 6, n. 4, pp. 1001-1017, 2009.

16 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, "Oxigênio dissolvido", disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/oxigdiss.html. Acesso em 01 ago. 2025.

utiliza água para o resfriamento do aço produzido, esse descarte possui alta temperatura. Mesmo que o rejeito esteja isento de outras substâncias químicas, isso afetará diretamente as condições da vida aquática, podendo conduzir os peixes ao estresse ou à morte.

Assim, dada a realidade do lago Sorensen e as características da indústria gerenciada por João Dalton, a hipótese levantada pelo prefeito, sobre a falta de oxigênio para os peixes respirarem, e consequentemente, sua morte por sufocamento, parece ser a mais provável.

7.4.2 AUMENTO DA ACIDEZ DA ÁGUA

Uma segunda sugestão de resolução para o caso se associa ao parâmetro de acidez da água do lago, levantada pelos fiscais ambientais Augusto Arrhenius e Gilberto Lewis. Afinal, outro fator importante na preservação da vida dos peixes é a faixa de pH em que a água se encontra, uma vez que o equilíbrio iônico hídrico possui efeito direto sobre o metabolismo e os processos fisiológicos de peixes e outros organismos aquáticos. Os principais fatores determinantes de pH são a presença de dióxido de carbono (CO_2) e a concentração de sais[17].

A variação da concentração de CO_2 afeta diretamente a respiração dos seres aquáticos. Aceita-se que a faixa de tolerância de pH para os peixes esteja compreendida entre 5,0 e 9,0; no entanto, o índice ideal está em um intervalo menor, entre 6,5 e 8,5[18]. A utilização de defensivos agrícolas de maneira inapropriada é um dos fatores que contribuem para a alteração do pH do solo e, mediante o processo de lixiviação, dos corpos d'água, já que a composição dos agrotóxicos inclui diversas substâncias ácidas ou alcalinas[19].

Dessa maneira, se houve um uso descontrolado de agrotóxicos em propriedades próximas ao lago Sorensen, isso pode ter afetado o equilíbrio hidrogeniônico da água, essencial para a manutenção da vida dos peixes e demais organismos.

17 Paul O. Fromm, "A review of some physiological and toxicological responses of freshwater fish to acid stress", E*nvironmental Biology of Fishes*, vol. 5, pp. 79-93, 1980. https://doi.org/10.1007/BF00000954

18 Phillip G. Jellyman e Jon S. Harding, "Variable survival across low pH gradientes in freshwater fish species", *Journal of Fish Biology*, vol. 85, pp.1746-1752, 2014. https://doi.org/10.1111/jfb.12497

19 Eduardo Dutra de Armas *et al*., "Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do Rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica", *Química Nova,* vol. 28, n. 6, 2005. https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000600008

7.4.3 OUTRAS HIPÓTESES

A hipótese levantada pela vice-prefeita, Maria Curi, não é válida. Seu argumento baseia-se na morte dos peixes por contaminação de metais pesados como chumbo, polônio, cádmio e mercúrio. Esses metais estão envolvidos, principalmente, no processo de mineração. Embora a siderúrgica atue no setor de metais e na produção de ligas, seus processos não envolvem o uso de tais substâncias.

Na siderurgia, o principal trabalho é a fabricação e transformação do ferro (etimologicamente, a associação com o termo grego *síderos*, relacionado aos astros, deve-se à percepção de que os meteoritos são corpos férricos que provêm do espaço sideral). Essa indústria produz, então, aço e demais ligas a partir do minério de ferro, que, na natureza, aparece na forma de óxidos e hidróxidos[20].

Apesar de inusitada e pouco crível, a hipótese levantada pelo veterinário, Érick Schroder, tem certa razoabilidade. Ela é baseada em um processo de defesa utilizado por alguns animais, que, para dissuadirem ataques de predadores, simulam estar mortos. Esse mecanismo é chamado tanatose ou imobilidade tônica. No entanto, tal comportamento (melhor dizendo, estado de inatividade) não é característico de peixes, sendo mais observado em algumas espécies de gambás, coelhos, sapos, aracnídeos e cobras[21].

A hipótese do clérigo da cidade, Antônio Lavoise, afirma que os peixes não estariam mortos, mas passando por um processo de mutação. Mesmo que raras e, na maioria das vezes, demandando um grande intervalo de tempo para gerarem consequências ao nível populacional (já que se originam em nível celular), essas modificações genéticas conferem novas habilidades ou morfologias aos seres vivos, estando relacionadas ao processo de evolução das espécies[22]. No entanto, a narrativa do caso não traz qualquer indício de que isso tenha sido observado nos peixes do lago Sorensen.

Por fim, a hipótese levantada pelo trovador Miguel Farad, exposta em uma canção de sua autoria, declarando que os peixes foram eletrocutados por raios e relâmpagos, soa fantasiosa. Porém, não é de todo inválida, pelo contrário, pode ocorrer em algumas situações, caso os peixes estejam muito próximos à super-

20 Josep M. Busquets, "Toquem ferro: història natural de l'élément (Fe)", *L'Erol*, vol. 91, pp. 10-16, 2006.

21 Rosalind K. Humphreys e Graeme D. Ruxton, "A review of thanatosis (death feigning) as an anti-predator behaviour", *Behavioral Ecology and Sociobiology*, vol. 72, n. 22, 2018. https://doi.org/10.1007/s00265-017-2436-8

22 Douglas E. Facey *et al.*, *The diversity of fishes: biology, evolution and ecology,* 3.ed, Wiley: Hoboken, 2023.

fície do reservatório aquático[23]. Quando uma descarga elétrica atinge a água, a eletricidade é distribuída por toda a superfície aquosa e se dispersa por ela, não conseguindo penetrar profundidades maiores, seja de um rio, lago ou mar. Porém, embora a hipótese possua base científica, não é válida para o caso dos peixes do lago Sorensen, pois os peixes não passam muito tempo na superfície da água, pelo contrário, buscam regiões mais profundas à procura de alimento, e também para reprodução.

7.5 PARA SABER MAIS

7.5.1 EFEITOS DA POLUIÇÃO EM PEIXES[24]

Embora não seja recente, essa publicação apresenta um panorama amplo, sem ser superficial, sobre os efeitos da poluição sobre a vida aquática. O texto traz informações que vão desde o nível biológico, considerando doenças e anomalias, até as consequências econômicas da mortandade de peixes ocasionada por agentes poluentes.

7.5.2 FISH DIE-OFF IN RIVER AND RESERVOIR: A REVIEW ON ANOXIA AND GAS SUPERSATURATION[25]

O artigo faz uma revisão sobre eventos de mortandade de peixes no Brasil, entre 2010 e 2020, levantando dados abundantes e preocupantes – por exemplo, o registro de crescimento de tais eventos ao longo dos anos. Ainda, essa revisão discute as possíveis causas atribuídas a tais eventos, incluindo a questão da poluição industrial. Por fim, o trabalho aborda as formas de monitoramento, mitigação e prevenção da mortandade massiva de peixes.

---

23 Chandima Gomes, Munir Ahmed e Diana Zele, "Lightning related fish mortality: case study from Bangladesh" *Proceedings of the International Conference on Lightning Protection*; Vienna, 2012, disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/6344259. Acesso em 01 ago. 2025.

24 Luiz Paulo Rodrigues Cunha, "Efeitos da poluição em peixes", *Revista do Ministério Público (Porto Alegre*, vol. 32, pp. 218-229, 1994, disponível em: https://www.amprs.com.br/arquivos/revista_artigo/arquivo_1283281680.pdf. Acesso em 01 ago. 2025.

25 Angelo Antonio Agostinho *et al.*, "Fish die-off in river and reservoir: a review on anoxia and gas supersaturation", *Neotropical Ichthyology*, vol. 19, n. 3, e210037, 2021. https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0037

CAPÍTULO 8

ESTUDO DE CASO: **UMA XÍCARA DE SABOR, POR FAVOR**

EVELIN RIBEIRO CARDOSO[1]
PRISCILA MARTINI DE SOUZA[2]
RENATA ALMEIDA CHAGAS[3]

Em uma pequena cafeteria aconchegante, o aroma tentador do café fresco recém-torrado flutua no ar, criando uma atmosfera que convida os presentes a uma experiência sensorial única. A barista, Alexa, uma apaixonada por café, está ocupada atrás do balcão, preparando as bebidas com destreza, enquanto sorri calorosamente para os clientes, dentre os quais está Sofia, uma jovem que ainda está descobrindo o mundo do café. Curiosa com as diferentes opções no menu, ela observa com interesse enquanto as pessoas fazem suas escolhas.

– Olá, gostaria de tomar um café, mas estou intrigada com as diversas opções no cardápio. Pode me ajudar?

– Claro! – responde Alexa – O café utilizado aqui vem da nossa própria plantação. Além disso, temos diversos processos de extração, como expresso, prensa francesa e cafeteira italiana. Qual tipo de café é o seu favorito?

– Eu gosto de um café mais forte, mas sem amargor. Mas eu nem sabia que havia tantos jeitos de fazer café! Você poderia me explicar a diferença entre eles?

– Sim! A maneira como extraímos o café pode transformar o seu sabor. Imagine que cada método de extração é como uma receita única, destacando diferentes aspectos do produto. Temos algumas opções, deixa eu te mostrar.

Alexa fornece informações sobre diferentes métodos de extração de café.

1 Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.
2 Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos 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 e docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.

– Uau, que incrível! – exclama Sofia – Eu não fazia ideia de que havia tantas nuances no processo. Definitivamente, quero aprender mais. Obrigada por compartilhar seu conhecimento, Alexa. Irei olhar o cardápio e realizar meu pedido!

Considerando os diferentes tipos de extração e suas implicações no sabor da bebida, indique métodos possíveis para a preparação do café e qual você aconselharia para Sofia? Argumente a favor da sua resposta.

8.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O café é considerado o queridinho dos brasileiros. A qualidade da segunda bebida mais consumida no país, atrás somente da água, pode ser influenciada por diversos fatores, dentre eles, método de preparo, características e composição química dos grãos, bem como os processos de torrefação e preparação[4]. Ao abordar a surpresa de Sofia, na pequena cafeteria, descobrindo que existem muitas maneiras de fazer café, o caso refere-se aos diferentes métodos de preparação e suas implicações nas características sensoriais, como o sabor, aroma, acidez e cor.

Os compostos químicos nos grãos de café conferem a ele sabor e aroma peculiares[5]. Os grãos do café são constituídos por uma grande variedade de compostos químicos, incluindo açúcares, ácidos, compostos fenólicos, cafeína, compostos voláteis, lipídios, proteínas e algumas enzimas. Os alcaloides, principalmente a trigonelina e a cafeína, estão associados ao aroma e ao sabor amargo das bebidas de café. Os ácidos clorogênicos são compostos importantes, pois não apenas exibem atividade antioxidante, mas também contribuem para o sabor e aroma das bebidas de café.

Durante as etapas de torrefação, uma série de reações ocorre simultaneamente entre os componentes dos grãos de café em altas temperaturas, tais como, reação de Maillard, oxidação de lipídios, degradação de Strecker, assim como pirólise

4 Gabriela M. R. N. Alcantara, Dayane Dresch e Wanessa R. Melchert, "Use of non-volatile compounds for the classification of specialty and traditional Brazilian coffees using principal component analysis", *Food Chemistry*, vol. 360, 130088, 2021. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130088

5 Marcelo R. Malta, Francisco D. Nogueira e Paulo T. G. Guimarães, "Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio", *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 27, n. 6, pp. 1246-1252, 2003.

de alguns compostos[6]. Dessa forma, os compostos não voláteis (ou seja, carboidratos, lipídios e proteínas/aminoácidos) são transformados em compostos orgânicos voláteis, que são responsáveis pelos sabores e aromas característicos da bebida final[7].

Os parâmetros e variáveis dos processos de extração do café contribuem significativamente para o sabor, qualidade e aceitação pelos consumidores[8]. Teles e Behrens[9] apontam que a busca por experiências e métodos de preparo, tais como, chemex, aeropress e prensa francesa, usando grãos de diferentes origens, misturados ou não, destaca as características da bebida e uma nova tendência de consumo relacionada à demanda do consumidor por sensorialidade e prazer.

No que se refere ao ensino superior, o tema do caso está relacionado a conhecimentos abordados em diversos componentes curriculares consolidados em cursos de bacharelado e licenciatura em química, como: Análise Sensorial, Cinética Química, Química Orgânica, Química de Alimentos e Laboratório de Química Orgânica. A sua aplicação nesses componentes pode favorecer a abordagem de conceitos teóricos e práticos de análise sensorial e suas relações com a composição e os métodos de extração do café. Além disso, pode contribuir para a análise da complexidade dos processos de extração ao explorar como variáveis, como temperatura, pressão, tempo de contato e granulometria dos grãos, influenciam a velocidade e o rendimento da extração dos componentes do café.

Adicionalmente, podem ser abordadas as propriedades físico-químicas das substâncias que constituem o café, assim como aspectos relacionados à torrefação, um processo químico multifacetado que desempenha um papel crucial na determinação das características sensoriais da bebida. Nesse contexto, pode ser destacado que compostos químicos presentes nos grãos de café sofrem uma série de reações complexas, tais como caramelização, pirólise e reação de Maillard, contribuindo para a formação de sabores e aromas específicos[10].

---

6 Ruihong Dong *et al.*, "Exploring correlations between green coffee bean components and thermal contaminants in roasted coffee beans", *Food Research International*, vol. 167, 112700, 2023. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112700

7 Danieli G. Debona *et al.*, "Comprehensive evaluation of volatile compounds and sensory profiles of coffee throughout the roasting process", *Food Chemistry*, vol. 478, 143586, 2025. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143586

8 Nancy Cordoba *et al.*, "Coffee extraction: a review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 96, pp. 45–60, 2020. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.004

9 Camila R. Arcanjo Teles e Jorge H. Behrens, "The waves of coffee and the emergence of the new brazilian consumer", *Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil*, pp. 257–274, 2020, cap. 13. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814721-4.00009-3

10 Marcelo H. dos Santos *et al.*, "Influência do processamento e da torrefação sobre a atividade antioxidante do café (Coffea arabica)", *Química Nova*, vol. 30, n. 3, pp. 604-610, 2007. https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300020

No ensino médio, a narrativa favorece a implementação de propostas interdisciplinares, especialmente em cursos técnicos integrados em química e em alimentos, sendo plausível estabelecer conexões entre os conteúdos de química e os de outras áreas do conhecimento, como geografia, história e biologia. Em química é possível abordar a composição química do café, explorar as propriedades físico-químicas dos compostos nele presentes, técnicas de extração, assim como a influência de diversos fatores na velocidade e rendimento de extração dos componentes do café. Em geografia e história é viável explorar as regiões produtoras de café, suas origens históricas e o impacto cultural e econômico ao longo do tempo. Em biologia é possível estudar a morfologia da planta do café, a diversidade genética e sua interação com o meio ambiente, incluindo aspectos como polinização e controle de pragas. Os compostos bioativos presentes no café podem também ser avaliados, a partir da investigação dos seus efeitos no organismo humano e os potenciais benefícios para a saúde.

Há também a possibilidade de realizar experimentos para comparar os diferentes métodos de extração e suas implicações nas características organolépticas do café. A integração entre a teoria e a prática favorece a contextualização e enriquece a experiência dos estudantes. O contexto histórico e cultural que permeia o assunto favorece ainda o ensino sobre a história e cultura afro-brasileira, preconizado pela Lei Nº 10.639, de 9 de janeiro de 2003, uma vez que é possível suscitar reflexões das inúmeras contribuições dos povos negros nas áreas social, econômica e política pertinentes à história da cafeicultura no país[11].

Questões relacionadas à sustentabilidade e ao impacto ambiental do cultivo do café também podem ser tratadas, oferecendo uma oportunidade para que os alunos compreendam os desafios enfrentados pela indústria do café e explorem soluções baseadas em uma abordagem científica. Isso inclui a investigação de métodos de cultivo sustentável e a avaliação dos efeitos dos agroquímicos no meio ambiente[12]. Esses temas propiciam discussões sobre ações sustentáveis na produção e consumo de café, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais, de forma a desenvolver o conhecimento ambiental[13].

Frente ao exposto, ao utilizar o tema do café como ponto de partida para práticas interdisciplinares, os professores podem viabilizar experiências de aprendi-

11 Brasil, Casa Civil, "lei nº 10.639, de 9 de janeiro de 2003", disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.639.htm. Acesso em 13 ago. 2025.

12 Haloysio M. de Siqueira, Paulo M. de Souza e Niraldo J. Ponciano, "Café convencional versus café orgânico: perspectivas de sustentabilidade socioeconômica dos agricultores familiares do Espírito Santo", *Revista Ceres*, vol. 58, n. 2, pp. 155-160, 2011. https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000200004

13 Jacqueline Frick, Florian G. Kaiser e Mark Wilson, "Environmental knowledge and conservation behaviour: exploring prevalence and structure in a representative sample", *Personality and Individual Differences*, vol. 37, n. 7, p. 1597–1613, 2004. https://doi.org/10.1016/j.paid.2004.02.015

zado abrangentes e integradas, estimulando construção de hipóteses, avaliação e conclusões no enfrentamento de situações-problema. Ao mesmo tempo, podem fomentar a análise de questões socioambientais, políticas e econômicas. Tais práticas estão alinhadas às competências e habilidades preconizadas na Base Nacional Comum Curricular[14].

8.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A origem do café é incerta, mas estudiosos estimam que os primeiros registros sobre o uso do fruto datam do ano 575 depois de Cristo, na Etiópia[15]. A cultura do café no Brasil foi iniciada em 1727, no Pará, e a primeira exportação do produto deu-se em 1732[16]. A cafeicultura foi vital para o desenvolvimento e modernização do país. Atualmente, o Brasil destaca-se como o primeiro produtor mundial, com 66 milhões de sacas de 60 quilogramas em 2023, o equivalente a 37% da produção global[17].

A planta de café pertence à família *Rubiaceae* e ao gênero *Coffea*. Entre todas as espécies desse gênero, duas são economicamente e comercialmente importantes, *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café canéfora). A espécie *Coffea arabica* (ou arábica) tem menos cafeína, mais aroma, doçura e acidez do que a espécie *Coffea canephora* (canéfora)[18].

O café é a segunda commodity mais comercializada após o petróleo e uma das bebidas mais populares do mundo[19]. Estatísticas indicam que aproximadamente

14 Brasil, Ministério da Educação, "Base Nacional Comum Curricular", disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em 13 ago. 2025.

15 Radar, "Você sabe quando o café começou a ser consumido pela humanidade?", *Estadão*, 09 out. 2023, disponível em: https://www.estadao.com.br/paladar/radar/voce-sabe-quando-o-cafe-comecou-a-ser-consumido-pela-humanidade/. Acesso em 13 ago. 2025.

16 Alcides Carvalho, "Histórico do desenvolvimento do cultivo do café no Brasil", Documentos IAC 34, 2007, disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/iacdoc34.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

17 Carlos Fioravanti, "Café brasileiro ganha qualidade, como resultado de novas variedades de plantas, técnicas inovadoras de cultivo e análises refinadas dos grãos", *Revista Pesquisa Fapesp*, n. 340, jun. 2024, disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2024/06/012-017_cafe_340.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

18 Flávio F. Souza *et al.*, "Características das principais variedades de café cultivadas em Randônia", *Documentos/EMBRAPA 93*, 2004, disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/906832/1/Doc93cafe.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

19 Dongsheng Hu *et al.*, "The impact of different drying methods on the physical properties, bioactive components, antioxidant capacity, volatile components and industrial application of coffee peel", *Food Chemistry: X*, vol. 19, 100807, 2023. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100807

2,25 bilhões de xícaras de café são consumidas diariamente em todo o mundo[20]. O Brasil é o segundo maior consumidor mundial de café, atrás apenas dos Estados Unidos. Além de sua importância como commodity agrícola, o café tornou-se um elemento central na identidade nacional, permeando vários aspectos da cultura brasileira. Independente se você o consome ou não, ele está sempre presente no cotidiano, seja em reunião de negócios, família, amigos, ou estampando importantes emblemas nacionais[21].

As dimensões geográficas continentais e o clima tropical favorável ao cultivo do grão facilitaram a adaptação da planta em solo brasileiro[22]. A expansão do cultivo de café foi um catalisador significativo para o desenvolvimento econômico e social de diversas regiões. Atualmente são mais de 2,2 milhões de hectares plantados de café, com destaque para regiões produtoras nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná e Rondônia[23]. Este fator resulta na combinação de uma diversidade e de qualidade de grãos, fato que possibilita atender às diferentes demandas mundiais relativas ao paladar e aos preços. Essa diversidade também permite o desenvolvimento de vários blends (misturas de tipos), tendo como base o café de terreiro ou natural, o despolpado, o descascado, o de bebida suave, os ácidos, os encorpados, além de cafés aromáticos e especiais[24].

A cultura do consumo do café está em constante evolução, impulsionada por um mercado cada vez mais exigente e o surgimento de novas tendências, como o café gourmet e o café especial, que destacam a qualidade e a origem do produto. Os cafés especiais são aqueles produzidos de acordo com protocolos padroni-

20 Natalia Stanek *et al.*, "Influence of coffee brewing methods on the chromatographic and spectroscopic profiles, antioxidant and sensory properties", *Scientific Reports*, vol. 11, 21377, 2021. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01001-2

21 Parlamento Jovem Brasileiro, "O café na história do Brasil", *Câmara dos Deputados*, 24 mai.2021, disponível em: https://www2.camara.leg.br/a-camara/programas-institucionais/experiencias-presenciais/parlamentojovem/noticias_para_voce/o-cafe-na-historia-do-brasil. Acesso em 13 ago. 2025.

22 Thaisy Sluszz e Eugenio Avila Pedrozo, "Vantagens competitivas proporcionadas pelo consórcio brasileiro de pesquisa e desenvolvimento do café (CBP&D/Café)", *Teoria e Evidência Econômica*, vol. 14, n. 27, pp. 35-59, 2006, disponível em: http://cepeac.upf.br/download/rev_n27_2006_art2.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

23 Lucas Tadeu Ferreira e Thiago Farah Cavaton, "Safra dos cafés do Brasil foi estimada em 58,08 milhões de sacas para este ano de 2024", *EMBRAPA*, 22 jan. 2024, disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/86520314/safra-dos-cafes-do-brasil-foi-estimada-em-5808-milhoes-de-sacas-para-este-ano-de-2024?p_auth=9cFoCRlt. Acesso em 13 ago. 2025.

24 Ministério da Agricultura e Pecuária, "Café", *Governo Federal*, disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe. Acesso em 13 ago. 2025.

zados, que incluem cultivo, seleção e preparo, refletindo no perfil sensorial da bebida final[25].

Além de sua importância cultural e econômica, o café também tem sido objeto de estudos científicos, especialmente no campo da medicina e da saúde. Considerado um alimento nutracêutico e funcional, o café é reconhecido por seus efeitos benéficos à saúde humana. Sua composição diversificada, que vai além da cafeína e inclui sais minerais, açúcares, lipídios, aminoácidos, vitaminas e ácidos clorogênicos, tem sido associada à prevenção de diversas condições de saúde, como depressão, disfunções psíquicas e doenças cardíacas, além de auxiliar na redução do consumo de tabaco e álcool[26].

"Uma xícara de sabor, por favor" atende os requisitos estabelecidos por Herreid *et al.*[27] para ser considerado como um bom caso. Com texto curto e direto, a narrativa é protagonizada por Sofia, uma jovem que está descobrindo o mundo do café, e Alexa, uma barista apaixonada pelo produto. A presença de diálogos e de personagens imersos em uma situação cotidiana facilita a leitura e desperta a empatia com os personagens.

O caso envolve uma temática constante no dia a dia dos estudantes, tornando-a familiar e acessível para eles. Algumas pesquisas apontam que aproximadamente nove em cada dez brasileiros consomem café regularmente[28]. Para além disso, o café é uma peça fundamental na cultura brasileira e integra-se profundamente ao cotidiano dos seus habitantes, sendo também intrinsecamente vinculado à história do país. Dessa maneira, o caso é atual e relevante, características que podem facilitar o engajamento dos alunos.

Ao propor que os leitores ocupem o lugar da Alexa e indiquem métodos possíveis para preparar um café forte e sem amargor, como prefere Sofia, o caso provoca um conflito e força uma decisão. Ademais, o caso evidencia sua utilidade pedagógica, uma vez que os estudantes precisam mobilizar conhecimentos para encontrar uma solução que considerem ideal entre as várias possibilidades. Para verificar qual solução é ideal e atende a tal demanda é preciso que os estudantes pesquisem sobre métodos de extração e suas implicações nas características sensoriais do café.

---

25 Heloísa Tieghi *et al.*, "Effects of geographical origin and post-harvesting processing on the bioactive compounds and sensory quality of Brazilian specialty coffee beans", *Food Research International*, vol. 186, 114346, 2024. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114346

26 Embrapa Café, "A importância do café nosso de todos os dias", *EMBRAPA,* 06 jun. 2005, disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17987068/a-importancia-do-cafe-nosso-de-todos-os-dias. Acesso em 15 ago. 2025.

27 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.

28 Edgar Matsuki, "Hoje é dia: dia do café, dos ciganos e da África são destaques", *Agência Brasil*, 19 mai. 2024, disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-05/hoje-e-dia-dia-do-cafe-dos-ciganos-e-da-africa-sao-destaques. Acesso em 13 ago. 2025.

8.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A principal inspiração para a construção do caso reside na experiência pessoal das duas primeiras autoras com o contexto abordado, em particular para aquela que resultou no acesso de ambas ao "café especial" em uma cafeteria chamada "Cheirin bão", situada na cidade de Volta Redonda, Rio de Janeiro. O estabelecimento se destaca pelo cuidado especial com a escolha e tratamento dos grãos, além da preocupação com o método de extração mais adequado.

8.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

A preparação do café compreende um processo de extração sólido-líquido que envolve: absorção de água pelo café moído; transferência de massa de sólidos solúveis do café moído para a água quente; e separação do extrato resultante dos sólidos usados[29]. Diversas variáveis podem alterar as características sensoriais do café, incluindo o método de preparo escolhido. Na sequência, são apresentadas cinco opções que envolvem extração dos componentes solúveis do café.

8.4.1 PRENSA FRANCESA

Também conhecida como *french press* ou *cafetière*, a prensa francesa utiliza o método de infusão para fazer extração do café. Nele, os grãos de café moídos ficam imersos em água quente por alguns minutos (dois a cinco minutos), sendo filtrados mecanicamente ao final do processo[30]. A ausência de filtro de papel permite a passagem dos óleos naturais do café para a bebida final. Esses óleos são responsáveis por sabores e aromas mais ricos. Entretanto, a moagem de café ideal para esse tipo de preparo é grossa para evitar que os grãos passem pelo filtro de metal que compõe esse tipo de equipamento. Devido à filtragem ineficiente da malha metálica, geralmente se obtém um maior conteúdo de sedimentos em

29 Giulia Angeloni *et al.*, "What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods", *Food Research International*, vol. 116, pp. 1327–1335, 2019. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022

30 Agnese Santanatoglia *et al.*, "A comprehensive comparative study among the newly developed Pure Brew method and classical ones for filter coffee production", *LWT - Food Science and Technology*, vol. 175, 114471, 2023. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114471

comparação com o café coado[31]. O café obtido por esse método é mais encorpado, aromático e um pouco mais doce, quando comparado àqueles obtidos por outros métodos de preparo. Esse fato pode não agradar pessoas que queiram um café mais forte, como é o caso de Sofia.

8.4.2 CAFETEIRA ITALIANA

A ferramenta é composta por um design de três compartimentos. O compartimento inferior é preenchido com água, e o pó de café é colocado no compartimento do meio. Ao aquecer, a água quente e o vapor passam pela cama de café, extraindo substâncias solúveis e emulsificáveis.

A configuração peculiar da Moka, como também é chamada a cafeteira italiana, permite extrair o café moído com uma pressão, temperatura e velocidade ligeiramente mais altas, alcançando boas eficiências de extração para cafeína e outras substâncias aromáticas[32]. A ausência de filtro de papel permite que os óleos naturais do café sejam preservados, conferindo uma textura mais rica e um perfil sensorial mais complexo à bebida final. O resultado desse processo é uma bebida que muitos consideram forte e concentrada. O amargor será algo marcante para paladares mais sensíveis, o que torna um processo que talvez fuja do gosto de Sofia.

8.4.3 MÉTODO DE EXTRAÇÃO POR AEROPRESS

O dispositivo consiste em dois cilindros encaixados. Um possui um selo flexível e hermético e se encaixa dentro do cilindro maior, de forma semelhante a uma seringa[33]. O procedimento se inicia com a adição do café moído em um filtro de papel dentro da Aeropress, seguido pela introdução da água quente. Após um breve período de imersão (em torno de 30 segundos), o pistão é empurrado, de forma que o ar entre a ponta do pistão e o café pressione o líquido a passar pelo filtro. O filtro de papel pode reter alguns óleos e sólidos indesejados, produzindo um café limpo, livre de resíduos e com menor amargor. A rápida extração

31 Simone Angeloni *et al.*, "Characterization of the aroma profile and main key odorants of espresso coffee", *Molecules*, vol. 26, n. 13, 3856, 2021. https://doi.org/10.3390/molecules26133856

32 Matteo Baglietto, "Assessing the potentialities of an easy-to-use sample treatment strategy: multivariate investigation on "Moka extraction" of typical ingredients from dietary supplements", *Advances in Sample Preparation*, vol. 10, 100110, 2024. https://doi.org/10.1016/j.sampre.2024.100110

33 Agnese Santanatoglia *et al.*, "Discrimination of filter coffee extraction methods of a medium roasted specialty coffee based on volatile profiles and sensorial traits", vol 12, n. 17, 3199, 2023. https://doi.org/10.3390/foods12173199

sob pressão também minimiza o risco de ocorrência da superextração, que pode levar à amargura do café. A escolha desse método gera um café com sabor mais marcante, encorpado e baixo amargor e o torna a melhor escolha para Sofia.

8.4.4 V60

O V60 é um sistema patenteado pela empresa japonesa Hario, consistindo de um percolador de café em forma de V, com um ângulo de 60 °C, de onde vem seu nome. Essa cafeteira é composta por três partes: uma garrafeira ou base de vidro, um decantador de café de cerâmica, com formato de cone invertido, e um filtro de papel[34]. O processo consiste em adicionar café moído ao filtro e derramar água quente em movimentos circulares. Na verdade, o V60 é o sistema tradicional de *pour-over*, no qual a água quente é vertida sobre o café moído em um filtro de papel, processo similar ao realizado pela cafeteira por gotejamento. O método com o V60 apresenta como diferencial o porta-filtro com linhas espirais ou veios na parte interna, que facilitam a expansão do pó de café no momento em que a bebida é coada. Além disso, possui uma abertura grande, na base do coador, permitindo que a velocidade do fluxo da água seja controlada.

A função do filtro de papel é bloquear os resíduos de café. Ao contrário dos tradicionais, ele é desenhado em formato de cone permitindo que a filtragem seja por igual, sem deixar que o fluxo de água encontre qualquer tipo de obstáculo[35]. O resultado é uma bebida mais encorpada, que realça características importantes do grão, como acidez e doçura, além de garantir uma xícara livre de resíduos no fundo. A moagem de café ideal para esse tipo de preparo é média a fina. Uma moagem mais fina pode extrair sabores mais intensos e complexos, mas há um risco de amargor se a extração for muito longa. Esse método pode não ser adequado para obter o sabor que Sofia deseja.

8.4.5 CAFETEIRA EXPRESSO

No processo de preparo do café expresso, a água quente é forçada a passar através do café moído com alta pressão. A alta pressão e a maior eficiência de penetração do solvente no pó de café fazem com que não apenas os compostos

34 Associação Brasileira da Indústria de Café, "Métodos de preparo", *ABIC*, 28 jun. 2021, disponível em: https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/metodos-de-preparo/. Acesso em 13 ago. 2025.

35 Ana L. F. Alves e Poliana A. G. de Almeida, "Análise sensorial: um café e diferentes métodos de preparo", *Revista Educação, Saúde & Meio Ambiente*, vol. 2, n. 10, pp. 396-411, 2022. https://doi.org/10.17648/2525-2771-v2n10-5

solúveis em água sejam extraídos, mas que ocorra também a fusão e extração dos lipídeos pela água quente[36]. Nesse método de preparo, as principais variáveis operacionais incluem a moagem, a porção de café moído, a prensagem e a qualidade da água. Além disso, parâmetros controlados pela cafeteira, como temperatura de extração, pressão da água e tempo de percolação, também desempenham um papel essencial[37]. O método empregado retira todo o sabor e aroma do café moído e ainda faz a espuma característica, conhecida como "crema"[38]. O café expresso é apreciado por muitas pessoas no mundo todo, e é conhecido como um café bastante encorpado. No entanto, não condiz com o desejo de Sofia, pois devido à alta pressão, o amargor será acentuado no resultado final.

8.5 PARA SABER MAIS

8.5.1 ELABORAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA NO ENSINO DE QUÍMICA ESTRUTURADA EM UMA METODOLOGIA ATIVA COM TEMA GERADOR: O CAFÉ[39]

A sequência didática descrita no artigo tem o café como tema gerador. As aulas foram sequenciadas em cinco etapas relacionadas ao cotidiano dos alunos, com abordagem interdisciplinar.

36 Amanda S. Querubina, A. S.; Marcella A. Coser e Walter R. Waldman, "Máquina de café expresso para extração de óleos essenciais: uma proposta experimental", *Química Nova na Escola*, vol. 38, n. 3, pp. 269-272, 2016. https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160037

37 C. Alejandra Salamanca *et al.*, "Extraction of espresso coffee by using gradient of temperature. Effect on physicochemical and sensorial characteristics of espresso", *Food Chemistry*, vol. 214, pp. 622–630, 2017. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.120

38 U.Coffee, "Café espresso: [Guia Completo] da grafia a como fazê-lo", disponível em: https://blog.ucoffee.com.br/cafe-espresso/. Acesso em 13 ago. 2025.

39 Jéssica C. Silva, Carla M. Martins e Rodrigo V. da Silva, "Elaboração de uma sequência didática no ensino de química estruturada em uma metodologia ativa com tema gerador: o café", *Research, Society and Development*, vol. 9, n. 9, e459997253, 2020. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7253

8.5.2 CAFÉ: ASPECTOS GERAIS E SEU APROVEITAMENTO PARA ALÉM DA BEBIDA[40]

Você sabia que os resíduos do café podem ser reaproveitados em diversas áreas, como na indústria de alimentos, farmacêutica e de cosméticos? O artigo apresenta uma revisão abordando a importância econômica do café no Brasil, assim como analisa as publicações científicas do país em relação ao tema. Além disso, também aborda as diferentes vias de processamento do café e a composição química do grão cru. Ademais, identifica os resíduos gerados durante o processamento do café, com vistas ao seu aproveitamento, além das principais aplicações dos subprodutos do café. Os autores concluem que os frutos do café possuem uma matriz química complexa, cuja importância econômica deriva de seu uso na forma de infusão feita com os grãos torrados e moídos.

40 C. A. A. Durán *et al.*, "Aspectos gerais e seu aproveitamento para além da bebida", *Revista Virtual de Química*, vol. 9, n. 1, pp. 107-134, 2017. http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170010

CAPÍTULO 9

ESTUDO DE CASO: **O DESAFIO PICANTE**

ARTHUR MORAES FRANCO DA ROCHA[1]
DANIEL YANKE BRASILINO[2]
RENATA ALMEIDA CHAGAS[3]

Em uma pequena cidade chamada Cumari, situada nas colinas do interior, moravam dois amigos, chamados Tutu e Kenan. Ambos compartilhavam o amor por comida picante, principalmente molhos de pimenta, e costumavam se envolver em competições para ver quem aguentava experimentar os molhos de pimentas mais picantes. Um dia, eles ouviram falar de um concurso de molho de pimenta que seria realizado na feira da cidade e sabiam que tinham que participar. O torneio contava com duas categorias: "Sabor", que avaliava os aromas e gostos que o molho traz quando degustado, e "Ardência", que dizia respeito ao quão forte, em picância, é o molho degustado. Ao ler o regulamento da competição, Tutu e Kenan descobriram que poderiam usar, além da pimenta, até duas frutas e condimentos. Durante o processo, o produto poderia ficar em processo de maturação, que consiste em deixar, ao longo de um período de tempo, todos os ingredientes juntos em um recipiente para a extração dos compostos que conferem sabor e ardor ao molho, uma única vez.

Entusiasmados, os amigos, estudantes de química, juntaram seus ingredientes e seus conhecimentos prévios e começaram a trabalhar na cozinha de Tutu. Passaram horas aperfeiçoando suas receitas, experimentando várias combinações de pimentas, temperos e ingredientes secretos. Eles testaram suas criações várias vezes, tomando notas e fazendo ajustes, até ter certeza que haviam criado um molho à altura do campeonato de molho de pimenta.

1 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.
2 Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos 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 e docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.

Chegou o dia da competição e Tutu e Kenan dirigiram-se à feira com seus molhos caseiros em mãos. Eles foram recebidos pelo aroma perfumado de pimenta malagueta no ar e pelo som da conversa de outros competidores e espectadores. A feira consistia em um espaço onde cada competidor montava seu estande, nesses locais eles deixariam à mostra seus molhos para que o público e os avaliadores da competição pudessem degustá-los. Cada avaliador degustaria o molho de três competidores dando a eles uma nota e um título de ardência. O molho mais bem avaliado passaria para a próxima fase, na qual competiria com outros três molhos, que também haviam passado pela fase anterior, e assim sucessivamente, até chegarem no mais gostoso e mais ardido molho de pimenta.

Montado seu estande de degustação, eles não puderam deixar de sentir uma sensação de excitação nervosa. Os molhos de sua produção demonstraram estar no mais alto nível da competição. Eles sabiam que enfrentariam um desafio, mas estavam determinados a mostrar suas habilidades culinárias e deixar sua cidade orgulhosa.

A primeira rodada começou e eles serviram ansiosamente amostras de seus molhos para os juízes e a multidão. Os meninos prenderam a respiração enquanto os juízes deliberavam e anunciavam os vencedores. Para sua alegria, os molhos avançaram para a próxima rodada, junto com alguns outros competidores.

À medida que as rodadas avançavam, o nível de ardência dos molhos continuava aumentando e a competição ficava ainda mais intensa. As papilas gustativas dos dois amigos foram postas à prova enquanto experimentavam as misturas ardentes dos demais competidores durante o período de degustação do festival, mas eles permaneceram confiantes em seus próprios molhos. A multidão cresceu e a excitação no ar era palpável.

Finalmente, chegou o dia da última rodada, quando restavam apenas alguns competidores, incluindo os dois amigos. O nível da competição estava muito alto e os juízes eram renomados por seu conhecimento sobre gastronomia picante. Tutu e Kenan serviram seus molhos, que haviam desenvolvido com orgulho, observando enquanto os juízes davam mordidas cautelosas e bebiam leite para refrescar a boca.

Suponha que você faz parte de uma dupla de competidores e deverá propor uma receita para a produção de um molho de pimenta, sugerindo maneiras de ter a presença dos componentes que conferem ardor à pimenta no molho e indicando a melhor delas.

9.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso aborda questões relacionadas à produção de molhos de pimenta, que envolvem conhecimentos em química de alimentos, microbiologia, processamento de alimentos e tecnologia de conservação. A aplicação do caso em sala de aula tem utilidade pedagógica, pois permite o aprofundamento no estudo dos tópicos voltados à técnicas de extração, purificação, identificação e caracterização de compostos orgânicos naturais.

As propriedades picantes das pimentas são atribuídas a um grupo de compostos chamados capsaicinoides[4]. Os capsaicinoides, são substâncias insolúveis em água, extraíveis principalmente com solventes de baixa polaridade[5]. Por isso, em muitas receitas de molhos de pimenta é recomendado macerar as pimentas em álcool (etanol) ou óleo para extrair seus sabores e aromas. A produção de molhos de pimenta também envolve técnicas de processamento, como mistura, homogeneização e pasteurização[6]. Durante a mistura é importante garantir que todos os ingredientes sejam completamente incorporados para obter uma consistência uniforme. A homogeneização é realizada com o auxílio de um liquidificador, esse procedimento ajuda a reduzir o tamanho das partículas, melhorando a textura e a aparência, conferindo fluidez e viscosidade ao molho. A pasteurização é um processo de aquecimento que ajuda a eliminar microrganismos e prolongar a vida útil do molho.

Um outro aspecto importante é a acidez do molho de pimenta. A maioria dos molhos de pimenta é feita com a adição de vinagre, que é um ácido fraco. A adição de vinagre não só aumenta a acidez do molho, mas também atua como um conservante natural, ajudando a prevenir o crescimento de bactérias e fungos[7]. Além disso, a adição de sal é um fator importante para realçar o sabor do molho de pimenta. O sal também atua como conservante, inibindo o crescimento de microrganismos e prolongando a vida útil do molho.

---

4 Araceli Peña-Alvarez, Erika Ramírez-Maya e Luís Ángel Alvarado-Suárez, "Analysis of capsaicin and dihydrocapsaicin in peppers and pepper sauces by solid phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry", *Journal of Chromatography A*, vol. 1216, n. 14, pp. 2843–2847, 2009. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.10.053

5 Vânia Maria Barboza da Silva, "Pimentas do gênero Capsicum: constituintes químicos e potencial antioxidante", tese de doutorado, João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba, 2017.

6 Angela Aparecida Lemos Furtado e André de Souza Dutra, "Elaboração de molhos de pimentas", *Informe Agropecuário*, vol. 33, n. 267, pp. 52-56, 2012, disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/934144. Acesso em 13 ago. 2025.

7 Tiyoko N. Rebouças, Renata M. Valverde e Helmo L. Texeira, "Bromatologia da pimenta malagueta in natura e processada em conserva", *Horticultura Brasileira*, vol. 31, n. 1, pp. 163-165, 2013. https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000100026

No que se refere ao ensino superior, o caso está relacionado a conhecimentos abordados em componentes curriculares, como Química Orgânica, Química de Produtos Naturais, Laboratório de Química Orgânica e Análise Sensorial de Alimentos, consolidados em matrizes curriculares de cursos de química ou de engenharia química de universidades brasileiras. Comumente, os alunos assumem um papel passivo no processo de ensino e aprendizagem. De forma distinta, a busca de soluções para o estudo de caso exige uma postura ativa, que requer pesquisa, argumentação e tomada de decisão. Esses elementos contribuem para o desenvolvimento de uma atitude crítica e construtiva, essencial para prepará-los para o mundo do trabalho.

Em consonância com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química[8], a aplicação deste estudo de caso pode colaborar para o atendimento do que se espera de um químico em relação ao trabalho de investigação científica e produção/controle de qualidade: "saber elaborar projetos de pesquisa e de desenvolvimento de métodos, produtos e aplicações em sua área de atuação" (p. 5) Ademais, em relação à aplicação do conhecimento em química: "ter curiosidade intelectual e interesse pela investigação científica e tecnológica, de forma a utilizar o conhecimento científico e socialmente acumulado na produção de novos conhecimentos" (p. 5). Com efeito, o artigo "Recursos lúdicos na apresentação da resolução de estudos de caso por graduandos em química"[9], que relata a aplicação de uma atividade didática pautada em estudos de caso sobre biofilmes poliméricos para revestimento de frutas, destaca a aquisição de conhecimentos científicos por parte dos alunos.

O caso também pode ser aplicado no ensino médio, especialmente em cursos técnicos integrados em química e em alimentos, uma vez que está diretamente relacionado a conhecimentos abordados em componentes curriculares, como Química Orgânica, Técnicas de Laboratórios, Tecnologia de Alimentos, Conservação de Alimentos e Análise Sensorial, que são consolidados em matrizes curriculares de cursos técnicos de instituições brasileiras que ofertam a referida modalidade de ensino. Nessa perspectiva, o artigo "Aprendizagem significativa no ensino de geografia: os benefícios da aprendizagem baseada em problemas por meio de um estudo de caso"[10] relata a aplicação de estudo de caso no primeiro

8 Brasil, Ministério da Educação, "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química", disponível em: https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

9 Pablyana L. R. da Cunha, Salete L. Queiroz e Patrícia F. de O. Cabral, "Recursos lúdicos na apresentação da resolução de estudos de caso por graduandos em química", *Química Nova na Escola*, vol. 46, n. 4, pp. 527-535, 2024. http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160403

10 Cleiton Sampaio de Farias, "Aprendizagem significativa no ensino de geografia: os benefícios da aprendizagem baseada em problemas por meio de um estudo de caso", *Revista Brasileira de Educação em Geografia*, vol. 7, n. 14, pp. 224–241, 2018. https://doi.org/10.46789/edugeo.v7i14.500

ano do ensino técnico integrado e aponta que, quando incentivados, os estudantes envolvem-se ativamente na busca de novos conhecimentos, especialmente os relacionados com a sua realidade.

A narrativa favorece ainda a investigação como forma de engajamento dos estudantes na aprendizagem de processos, práticas e procedimentos científicos e tecnológicos, permitindo que analisem os fenômenos e processos, utilizando modelos e fazendo previsões, em concordância com o que se espera da área de ciências da natureza e suas tecnologias, estabelecido pela Base Nacional Comum Curricular[11] para o ensino médio.

Para tornar a abordagem de "O desafio picante" mais enriquecedora para os estudantes, da educação básica ou superior, é oportuno considerar a inclusão de materiais suplementares à discussão do caso, que contemplem informações atualizadas sobre o tema em questão, tais como: textos, vídeos e podcasts. Por exemplo, em publicação intitulada "A ciência por trás do nosso gosto por pimentas"[12], o jornal Nexo apresenta uma breve história da pimenta malagueta e destaca que a sensação de picância das pimentas é provocada pela capsaicina, substância presente nesses alimentos. Além disso, a matéria explica porque o ser humano é o único animal que come pimenta. Por outro lado, o episódio de podcast chamado "De onde vem o que eu como #28: Pimentas"[13], disponível em plataformas de áudio, conta como surgem as pimentas campeãs de ardência e como amenizar o seu efeito.

9.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Pimentas são temperos tradicionais de diversas culturas e fazem parte do cotidiano de milhares de brasileiros. Segundo Reifschneider *et. al*[14], a incorporação das pimentas na culinária brasileira deve-se principalmente aos povos indígenas

11 Brasil, Ministério da Educação, "Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio", disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em 13 ago. 2025.

12 Roberto Silvestro, "A ciência por trás do nosso gosto por pimentas", *Nexo Jornal*, 18 dez. 2022, disponível em: https://www.nexojornal.com.br/externo/2022/11/18/a-ciencia-por-tras-do-nosso-gosto-por-pimentas. Acesso em 13 ago. 2025.

13 G1, "De onde vem o que eu como #28: Pimentas", *G1 Podcasts*, disponível em: https://g1.globo.com/podcast/de-onde-vem-o-que-eu-como/noticia/2023/02/13/de-onde-vem-o-que-eu-como-28-pimentas.ghtml. Acesso em 13 ago. 2025.

14 Francisco J. B. Reifschneider *et al.*, "Uma pitada de biodiversidade na mesa dos brasileiros", *EMBRAPA*, 2015, disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153085/1/Uma-pitada-de-biodiversidade-na-mesa-dos-brasileiros.pdf. Acesso em 13 ago. 2025.

e também aos africanos, que, ao chegarem ao país, passaram a consumi-las em abundância.

As pimentas são fontes ricas de várias vitaminas como A, C, E, e outros compostos tais como carotenóides, compostos fenólicos, capsantina, capsorubina e capsaicinoides[15]. A pungência ou picância é a principal característica das pimentas e está diretamente relacionada com a concentração dos capsaicinoides[16]. Geralmente, os capsaicinoides obtidos de pimentas vermelhas e picantes contêm 69% de capsaicina, 22% de dihidrocapsaicina, 7% de nordihidrocapsaicina, 1% de homocapsaicina e 1% de homodihidrocapsaicina[17]. A capsaicina, (E)-N-(4-hidroxi-3-metoxibenzil)-8-metil-6-nonenamida, em sua forma pura, é um composto cristalino e incolor. Ela é hidrofóbica e insolúvel em água.

A pungência é uma característica de qualidade para pimentas frescas e também para produtos processados, sendo o conteúdo de capsaicina um dos requisitos principais para determinar a qualidade comercial dos frutos de pimenta[18]. O livro dos recordes, o Guiness, é atualizado regularmente com alguma nova variedade que leva o título de "pimenta mais ardida do mundo", e existem competições nas quais as pessoas tentam comer essas pimentas. O *Scovie Awards* é uma das competições de alimentos gourmet mais famosas, que reconhece os melhores produtos de alimentos picantes do mundo. A avaliação, que não é aberta ao público, conta com 80 a 100 jurados, principalmente profissionais da área de alimentos, que provam os produtos em copos codificados em uma chamada "degustação às cegas". Eles preenchem formulários de avaliação e classificam os produtos de acordo com a aparência, aroma, sabor e escala de ardência[19].

"O desafio picante" é, portanto, um caso atual e relevante aos leitores, visto que as pimentas estão presentes na culinária brasileira há mais de 500 anos e são diariamente consumidas em todo o país. Eventualmente, são noticiados, nos principais meios de comunicação, festivais e concursos de pimentas nacionais e

---

15 Archa Vijay *et al.*, "Functional genomics to understand the tolerance mechanism against biotic and abiotic stresses in Capsicum species", *Transcriptome Profiling: Progress and Prospects*, pp. 305–332 2022, cap. 11. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91810-7.00001-7

16 Cleide Maria Ferreira Pinto, Cláudia Lúcia de Oliveira Pinto e Sérgio Mauricio Lopes Donzeles, "Pimenta capsicum: propriedades químicas, nutricionais, farmacológicas e medicinais e seu potencial para o agronegócio", *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, vol. 3, n. 2, pp. 108-120, 2013.

17 Muhammad Waqas, Dildar Ahmed e Muhammad Tariq Qamar, "Surfactant-mediated extraction of capsaicin from *Capsicum annuum* L. fruit in various solvents", *Heliyon*, vol. 8, n. 8, e10273, 2022. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10273

18 Carolina I. Domenico *et al.*, "Caracterização agronômica e pungência em pimenta de cheiro", *Horticultura Brasileira*, vol. 30, n. 3, pp. 466–472, 2012. https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000300018

19 About - Scovie Awards, disponível em: https://www.scovieawards.com/about. Acesso em 13 ago. 2025.

internacionais. Além disso, as redes sociais estão inundadas de informações relacionadas ao consumo de pimentas. Por exemplo, existe um programa popular no YouTube chamado *Hot Ones*, em que celebridades são entrevistadas enquanto comem asas de frango cobertas com molhos de pimenta que ficam progressivamente ardidos. O canal conta com mais de 14 milhões de inscritos.

O caso apresenta uma série de características que o classifica como um bom caso, de acordo com Herreid *et al*[20], dentre as quais, conta uma história voltada a um problema que desafia os estudantes, podendo estimular a sua curiosidade e interesse. Trata-se de um caso curto, fato que pode facilitar sua abordagem em sala de aula. A narrativa é protagonizada por dois personagens principais, Tutu e Kenan, que são amigos e estudantes de química, o que pode despertar a empatia. Além disso, os leitores são convidados a ocupar o papel dos personagens que serão responsáveis por produzir um molho de pimenta com as características exigidas pelo concurso. Dessa forma, o problema a ser resolvido está bem definido no caso: é necessário propor a melhor forma de obtenção de componentes que conferem ardor à pimenta para a fabricação de um molho.

O dilema proposto cumpre a função de ensino, uma vez que reflexões para solucioná-lo podem favorecer o desenvolvimento de conhecimentos químicos. Para verificar quais possíveis soluções atendem à demanda de obtenção de componentes que conferem ardor na fabricação de um molho, ou seja, com uma maior concentração dos capsaicinoides, é preciso que os alunos pesquisem sobre identificação, caracterização, extração e purificação de compostos, além disso, precisam investigar a função de materiais presentes no cotidiano na produção de molhos de pimentas, como o sal e o vinagre.

O caso tem potencialidade para permitir que os estudantes apliquem o conhecimento que aprenderam sobre o assunto abordado, analisem dados e alcancem conclusões a partir dos seus próprios esforços.

9.3 FONTES DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

O caso é inspirado na vivência dos dois primeiros autores, que nutrem amor por pimentas e cozinham juntos comidas com muitas pimentas, dos mais variados tipos, sempre apreciando o ardor e gosto característico desse tempero. A pimenta é uma constante na mesa de ambos, desde os almoços em família até as refeições no restaurante universitário. Por esse amor às pimentas, eles sempre

20 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.

assistem entrevistas e programas de entretenimento, que tratam de competições de molho de pimenta realizadas em todo o mundo, como o *Scovie Awards*, nos Estados Unidos da América, e o *Hot Pepper Awards*, no Reino Unido.

Filmes e séries de culinária forneceram inspiração para a construção da narrativa do molho de pimenta. Um exemplo é o filme *Chef*, lançado em 2014, que retrata a jornada de um chef que abandona seu emprego em um restaurante de luxo para abrir um *food truck* de comida cubana. A série *Chef's Table*, por sua vez, mostra a história de chefs internacionalmente renomados, destacando suas trajetórias, motivações e criações culinárias. Já *The Bear* explora o mundo da culinária por meio da história de Carmen "Carmy" Berzatto, um jovem chef renomado, que retorna a Chicago para administrar a lanchonete de sua família, após a morte do irmão.

9.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

A produção de um molho de pimenta com a presença dos componentes que conferem ardor fundamenta-se na utilização de pimentas do gênero Capsicum como matéria-prima e aplicação de técnicas de extração para obtenção de uma maior concentração de capsaicinoides. A extração de capsaicina de pimentas, em laboratório, é comumente realizada utilizando solventes orgânicos e a eficiência da extração pode variar dependendo das pimentas, suas partes e do processamento prévio de extração[21]. Na sequência, são apresentadas três possibilidades para extração de capsaicina de pimentas.

9.4.1 EXTRAÇÃO POR SOLVENTE

A extração por solvente é o método mais utilizado para a extração da capsaicina de pimentas. O método fundamenta-se na transferência de um ou mais componentes de uma fase líquida ou sólida para uma fase líquida que é imiscível ou apenas parcialmente miscível com a primeira fase[22]. A extração de capsaicinoides de pimentas geralmente é realizada utilizando solventes orgânicos,

21 Roxana-Madalina Stoica *et al.*, "Extraction and analytical methods of capsaicinoids- a review", *Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies*, vol. 20, pp. 93–98, 2016.

22 Arunashri Ancy *et al.*, "A review of extraction and quantification of capsaicin and its bio insecticidal activity in food grains", *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, vol. 54, n. 3, pp. 435–443, 2023. https://doi.org/10.1080/10826068.2023.2241137

como metanol, acetona, acetonitrila e clorofórmio[23]. Para produção do molho de pimenta, o procedimento envolve a moagem das pimentas e possíveis outros condimentos e a adição de um solvente orgânico, como o etanol, ou óleo vegetal ou azeite, usados como tal. Os ingredientes podem ficar expostos ao solvente orgânico por dias para uma melhor extração.

9.4.2 EXTRAÇÃO POR SOXHLET

A extração por Soxhlet é um dos métodos mais antigos de extração sólido-líquido (também conhecida como lixiviação ou percolação), inventado em 1879 por Franz Von Soxhlet[24]. O extrator Soxhlet é utilizado em extrações sólido-líquido quando a substância a ser extraída tem solubilidade limitada no solvente escolhido e as impurezas são insolúveis. O processo consiste em usar o extrator Soxhlet para transferir as partes parcialmente solúveis de um sólido para a fase líquida.

A técnica é muito simples e requer um extrator Soxhlet, um dedal (normalmente feito de celulose) para conter a amostra, um condensador, que permite o refluxo do solvente, um balão que conterá o solvente e está na base do aparelho e uma manta aquecedora que tem a função de aquecer o solvente até sua evaporação[25]. O calor é aplicado por refluxo até o ponto de ebulição do solvente e o vapor do solvente percorre o caminho de destilação até o frasco onde a amostra de pimenta está acondicionada. A matriz da pimenta será rapidamente submersa dentro do solvente aquecido, e os constituintes de interesse são seletivamente isolados da matriz da pimenta de acordo com seus pontos de ebulição.

No método de Soxhlet a amostra está sempre em contato com o solvente, ocorrendo sua constante renovação, a temperatura do sistema mantém-se relativamente alta, visto que o calor aplicado para o processo de evaporação é constante. Além disso, é uma metodologia muito simples que não requer treinamento especializado[26]. No entanto, os principais problemas do método incluem tempo de extração longo, necessidade de solventes caros e de alta pureza, custo de ener-

23 Rujul Tamhane e Namita Hegdekar, "Study of capsaicinoids in chillies & its therapeutic applications", *International Journal of Creative Research Thoughts*, vol. 9, n. 10, pp. 22-28, 2021.

24 Nour H. Abdurahman e Olusegun A. Olalere, "A comparative review of conventional and microwave assisted extraction in capsaicin isolation from chili pepper" *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 10, n. 10, pp. 263-275, 2016.

25 Samar Al Jitan, Saeed A. Alkhoori e Lina F. Yousef, "Phenolic acids from plants: extraction and application to human health", *Studies in Natural Products Chemistry*, vol. 58, pp. 389-417, 2018, cap.13. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64056-7.00013-1

26 Aelson Aloir Santana Brum, Lia Ferraz de Arruda e Marisa Aparecida Bismara Regitano-d'Arce, "Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal", *Química Nova*, vol. 32, n. 4, pp. 849–854, 2009. https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400005

gia para evaporação do solvente, baixa seletividade na extração e decomposição térmica de compostos sensíveis[27].

9.4.3 HIDRODESTILAÇÃO

A hidrodestilação é um método convencional para extrair os constituintes da pimenta e pode ser realizada por meio de um aparelho de Clevenger ou por destilação por arraste a vapor. Nesse processo a amostra é hidratada e destilada, e a fase vapor é condensada para obter o extrato puro.

Na hidrodestilação tipo Clevenger o material vegetal é imerso em água sob aquecimento até a fervura, resultando na formação de vapores que arrastam os compostos voláteis, os quais, após a condensação, separam-se da fase aquosa por decantação[28]. No entanto, o método de destilação por arraste a vapor consiste, basicamente, em passar uma corrente de vapor de água através do material que contém a substância que se deseja extrair e, em seguida, condensar a mistura[29]. Do ponto de vista econômico, essa técnica não exige o uso de solventes orgânicos, tornando-a uma opção desejável quando o custo da extração é importante[30].

9.5 PARA SABER MAIS

9.5.1 A ESCALA DE SCOVILLE: A CIÊNCIA POR TRÁS DA PUNGÊNCIA DAS PIMENTAS[31]

Você sabia que existe uma escala para indicar o grau de picância ou pungência de pimentas? Ela se chama escala Scoville, em homenagem a Wilbur Scoville,

---

27 Christos D. Bontzolis *et al.*, "Effect of solvents on aniseed aerial plant extraction using soxhlet and ultrasound methods, regarding antimicrobial activity and total phenolic content", *Food Chemistry Advances*, vol. 4, 100609, 2024. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100609

28 Cláudia Lopes Prins, C. S. L. Lemos e Silvério da Paiva Freitas, "Efeito do tempo de extração sobre a composição e o rendimento do óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*)", *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, vol. 8, n. 4, pp. 92-95, 2006.

29 Roberto R. Silva, Nerilso Bocchi, Romeu C. Rocha-Filho e Patrícia Fernandes L. Machado, *Introdução à Química Experimental*, 3 ed., São Paulo, EdUFSCAR, 2019.

30 Kehinde Oluwakemi Fagbemi, Daniel Ayandiran Aina e Olufunmiso Olusola Olajuyigbe, "Soxhlet extraction versus hydrodistillation using the clevenger apparatus: a comparative study on the extraction of a volatile compound from tamarindus indica seeds", *The Scientific World Journal*, vol. 2021, e5961586, 2021. https://doi.org/10.1155/2021/5961586

31 Leandro Lobo, "A escala de Scoville: a ciência por trás da pungência das pimentas", Ciência Hoje, mai. 2024, disponível em: https://cienciahoje.org.br/artigo/a-escala-de-scoville-a-ciencia-por-tras-da-pungencia-das-pimentas/. Acesso em 13 ago. 2025.

um farmacêutico, que desenvolveu um método, em 1912, atualmente conhecido como Teste Organoléptico de Scoville ou Procedimento de Diluição e Prova. Nele, Scoville extraía os capsaicinóides de uma quantidade estabelecida de alguma pimenta em uma solução em etanol. A solução era, então, diluída em água com açúcar e testada por um painel de cinco profissionais treinados. A escala de Scoville mede quantas vezes o extrato inicial precisava ser diluído para que a sensação de "picância" desaparecesse completamente.

O farmacêutico atribuiu a cada molho picante ou pimenta um número com base nos testes de diluição e expressou isso como uma escala chamada Escala Organoléptica de Scoville. O método foi melhorado e foi criada a escala de unidades de picância de Scoville (*Scoville heat units*, ou SHU). A matéria citada aborda um pouco da história de vida do farmacêutico e como ele chegou na escala Scoville, além de entender a escala de picância das pimentas do gênero Capsicum. O autor do trabalho destaca que, atualmente, existem métodos quantitativos mais modernos e precisos para aferir a pungência das pimentas, como a cromatografia líquida de alta eficiência.

9.5.2 ANÁLISE DE ALIMENTOS CONTENDO CÚRCUMA: UMA SEQUÊNCIA EXPERIMENTAL SIMPLES PARA A SALA DE AULA E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA[32]

O artigo descreve a elaboração e aplicação de uma sequência experimental com viés problematizador, que foi idealizada visando o domínio do conteúdo teórico-experimental sobre técnicas básicas de laboratório, como análise de corantes em alimentos por meio da extração simples e cromatografia em camada delgada. Os autores ressaltam que a sequência experimental descrita permite trazer dos laboratórios mais sofisticados para os espaços formais e não formais de ensino, como salas de aula do ensino médio ou eventos de divulgação científica, um método muito comum de análise do corante natural cúrcuma, presente em alimentos industrializados.

32 Thayssa da Silva Ferreira Fagundes *et al.*, "Análise de alimentos contendo cúrcuma: uma sequência experimental simples para a sala de aula e divulgação científica", *Revista Virtual de Química*, vol. 10, n. 4, pp. 841-850, 2018. https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180061

CAPÍTULO 10

ESTUDO DE CASO: **PALETA LÁCTEA: UMA EXPLORAÇÃO DAS CORES DO LEITE**

LETÍCIA TAGLIAVINI DE ASSIS[1]
NATÁLIA WOLF DE FARIA[2]
RICARDO MATOS[3]

Pedro Pasteur acompanhou, desde criança, o crescimento da indústria leiteira Vaca Dourada, criada por seus avós, João Pasteur e Maria Pasteur, no município de Lactópólis, onde sempre adorou realizar visitas. Após a aposentadoria de seu pai, Pedro assumiu os negócios da família e, com o crescimento acelerado da empresa, decidiu investir em um setor de qualidade. Para liderar essa nova área, contratou Marina Thompson, uma química especializada em ciência de alimentos.

A Vaca Dourada, embora mantivesse um ar familiar, teve uma ampla expansão, especialmente nos últimos três anos, diversificando sua linha de produtos. A mais recente novidade foi a implantação da produção da linha sem lactose, na qual o leite sofre o mesmo tratamento do leite convencional, porém a enzima lactase é adicionada logo antes da esterilização do leite.

O crescimento da empresa estava exigindo a modernização de equipamentos. No entanto, Pedro, em homenagem à tradição familiar, ainda preservava algumas máquinas originais, como um dos tanques de esterilização comprado por seus avós. Porém, devido ao tempo de uso, o sistema de controle de temperatura do tanque já havia apresentado falhas, resultando em variações térmicas significativas e prolongadas, comprometendo o desempenho do equipamento. Por esse

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

motivo, esse tanque também passou a ser utilizado mais para testes preliminares de novos produtos e parâmetros do que na linha de produção normal. Um dos últimos testes feitos nesse equipamento foi a esterilização da nova linha de leite sem lactose.

Após três anos de sucesso do setor de qualidade, um caso inesperado interrompeu a tranquilidade da empresa. Durante uma de suas visitas à linha de produção, Pedro foi chamado por um colaborador para analisar um lote de leite, que inclusive passou por esse conhecido tanque de esterilização:

– Seu Pedro, vem cá dar uma olhada nesse leite aqui, *ó*! *Tá* com uma cor bem diferente, não acha não?

– Parece mais escuro mesmo. A Marina já está a par disso? Vou avisá-la.

Ao chegar no setor de qualidade, Pedro encontra Marina com uma cara de preocupada.

– Bom dia, Marina! Um dos nossos colaboradores me mostrou que o leite do último lote produzido está apresentando uma coloração mais escura, você está ciente? Acredito que sim, pela cara de preocupação.

– Bom dia, Pedro. Sim, já me avisaram sobre. O setor da qualidade está trabalhando para encontrar a causa do problema. Estou indo para uma reunião de urgência para decidir as providências a tomar, quer participar?

– Eu tenho uma outra reunião agora, mas confio em você. Volto antes do almoço, caso precisem de mim.

Imagine-se no lugar de Marina Thompson e ajude sua equipe a investigar as alterações observadas na coloração do lote do leite em questão, levantando hipóteses e propondo análises adequadas para confirmá-las ou descartá-las. Argumente a favor da hipótese mais provável, demonstrando o raciocínio científico por trás de cada decisão.

10.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso é bem estruturado[4], apresentando uma problemática com várias soluções possíveis. Isso exige que os alunos pensem criticamente, selecionem a opção mais viável e argumentem em sua defesa, desenvolvendo assim habilida-

4 Luciana Passos Sá, Ana Cláudia Kasseboehmer e Salete Linhares Queiroz, "Casos investigativos de caráter sociocientífico: aplicação no ensino superior de Química", *Educación Química*, vol. 24, n. extraordinário 2, pp. 522-528, 2013. https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72523-0

des essenciais para graduandos em química, conforme as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química[5].

Os temas abordados neste estudo de caso englobam processos fundamentais da química orgânica, em particular as interações entre açúcares redutores e aminoácidos, que desempenham um papel crucial em reações como a de Maillard[6]. Essa reação não apenas influencia as características sensoriais dos alimentos, como cor e sabor, mas também leva à formação de compostos como melanoidinas e acrilamida, os quais apresentam implicações tanto tecnológicas quanto toxicológicas[7].

As reações envolvidas na formação de melanoidinas e acrilamida estão intimamente relacionadas a fatores como controle térmico, pH e umidade, aspectos essenciais no campo da tecnologia de alimentos[8]. A acrilamida, por exemplo, é um composto potencialmente carcinogênico que surge durante processos de aquecimento em altas temperaturas, como fritura e torrefação, destacando a necessidade de otimização dessas condições para minimizar sua formação[9].

Nesse contexto, a aplicação de métodos analíticos avançados, como a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), permite a quantificação desses compostos, contribuindo para o controle de qualidade em processos industriais[10]. Além disso, a análise crítica de procedimentos industriais é fundamental para adequar a produção de alimentos a padrões de segurança e sustentabilidade[11].

A resolução do caso favorece, portanto, a integração de conhecimentos essenciais no nível superior, como os mecanismos de reações orgânicas e aspectos de misturas de matrizes complexas e orgânicas, tendo aplicação, principalmente, em componentes curriculares como Química Orgânica e Bioquímica. No entanto,

---

5 Brasil, Ministério da Educação, "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química", disponível em: https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf. Acesso em 01 ago. 2025.

6 M. A. J. S Van Boekel, "Formation of flavour compounds in the Maillard reaction", *Biotechnology Advances*, vol. 24, n. 2, pp. 230-233, 2006. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.004

7 Richard H. Stadler *et al*., "Acrylamide from Maillard reaction products", *Nature*, vol. 419, pp. 449-450, 2002. https://doi.org/10.1038/419449a

8 Ram Chandra, Ram Naresh Bharagava e Vibhuti Rai, "Melanoidins as major colourant in sugarcane molasses based distillery effluent and its degradation", *Bioresource Technology*, vol. 99, n. 11, pp. 4648-4660, 2010. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.057

9 Eden Tareke *et al*., "Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 17, p. 4998-5006, 2002. https://doi.org/10.1021/jf020302f

10 Zhiming Geng, Peng Wang e Aiming Liu, "Determination of acrylamide in starch-based foods by HPLC with pre-column ultraviolet derivatization", *Journal of Chromatographic Science*, v. 49, n. 10, pp. 818-824, 2011. https://doi.org/10.1093/chrsci/49.10.818

11 Eduardo Capuano e Vincenzo Fogliano, "Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): a review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies", *LWT - Food Science and Technology*, vol. 44, n. 4, pp. 793-810, 2011. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.002

também permite discussões sobre cinética química, termodinâmica, técnicas de análises instrumentais avançadas e métodos de mitigação de compostos indesejáveis, estando alinhada com outros componentes curriculares, como Química de Alimentos, Toxicologia e Controle de Qualidade.

10.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

De acordo com os critérios estabelecidos por Herreid *et al.*[12], o caso sobre as alterações de coloração no leite sem lactose da Vaca Dourada pode ser considerado um bom estudo de caso. Isso se deve, inicialmente, por sua concisão, ocupando menos de duas páginas, o que permite uma abordagem objetiva, sem perder profundidade.

O caso mantém a atenção do leitor por meio de uma narrativa centrada no problema do escurecimento inexplicável de um lote de leite sem lactose. Essa questão permite a mobilização de conhecimentos diversos da química de alimentos para propor uma solução.

A presença de conflito é evidente na estruturação do caso, que vai além da simples identificação das causas do escurecimento. O dilema reflete desafios reais da indústria alimentícia, nas quais decisões técnicas devem equilibrar aspectos químicos, econômicos e de segurança alimentar. Nenhuma solução é perfeita, exigindo *trade-offs* entre diferentes abordagens, desde ajustes no processamento térmico até a adoção de novas técnicas analíticas.

A capacidade de gerar empatia é reforçada pela protagonista Marina Thompson, uma química industrial, cujos desafios profissionais são facilmente identificáveis por estudantes que vislumbram carreiras na área. A linguagem acessível e a problemática cotidiana criam uma conexão imediata com o público acadêmico.

A produção de leite sem lactose representa um dos segmentos de maior crescimento no setor lácteo[13], impulsionado pela crescente demanda de consumidores com intolerância à lactose e pela percepção de que esses produtos são mais digestivos. No entanto, a hidrólise enzimática da lactose – que quebra esse dissacarídeo em glicose e galactose – duplica a quantidade do substrato ideal para reações químicas indesejáveis, como a reação de Maillard.

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.

13 Adriana Dantas, Silvani Verruck e Elane Schwinden Prudencio, *Tecnologia de leite e produtos lácteos sem lactose*, Ponta Grossa, Atena Editora, 2019.

O desafio é particularmente crítico em processos térmicos[14], como a esterilização, no qual as temperaturas elevadas aceleram a reação. Estudos demonstram que o leite sem lactose é mais suscetível a mudanças químicas e físicas durante momentos de aquecimento e armazenamento, devido à presença de glucose e galactose produzidas pelo processo enzimático, sendo ambas espécies mais reativas que a lactose[15]. Nesse contexto, o caso da Vaca Dourada ilustra um problema recorrente na indústria: como equilibrar eficiência produtiva, qualidade sensorial e segurança alimentar em produtos lácteos modificados.

Quanto à relevância do tema, é necessário considerar o cenário atual do mercado de laticínios. Produtos lácteos sem lactose ganham cada vez mais espaço nos supermercados e no gosto dos consumidores, representando em torno de 7 a 10% da produção de empresas de laticínio como a Latco (marca da Crioulo)[16], tornando prementes os desafios de controle de qualidade associados. O caso ganha ainda mais relevância ao abordar questões de segurança alimentar. Compostos formados nos processos, como a acrilamida, têm sido associados a efeitos adversos à saúde[17], adicionando uma dimensão ética às discussões.

A atualidade do tema é reforçada pelo uso crescente de tecnologias como a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para monitoramento em tempo real de componentes do leite[18] e pelas constantes atualizações nas regulamentações sobre padrões de qualidade de lácteos[19]. O caso também se conecta com tendências do setor, como a demanda por alimentos seguros e de qualidade.

---

14 Felippo Evangelista *et al.*, "Deterioration of protein fraction by Maillard reaction in dietetic milks", *Journal of Dairy Research*, vol. 66, n. 2, pp. 237-243, 1999. https://doi.org/10.1017/S0022029999003453

15 Leandra N. O. Neves e Marcone A. L. Oliveira, "Effects of enzymatic lactose hydrolysis on termal markers in lactose-free UHT milk", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 57, pp. 3518-3524, 2020. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04561-9

16 CNA, "Cadeia do leite aposta em lácteos sem lactose para conquistar mercado", *Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil*, 30 nov. 2021, disponível em: https://cnabrasil.org.br/noticias/cadeia-do-leite-aposta-em-lacteos-sem-lactose-para-conquistar-mercado. Acesso em 01 ago. 2025.

17 Adriana Pavesi Arisseto, "Acrilamida em alimentos: ocorrência, métodos analíticos e estimativas de ingestão", tese de doutorado, Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

18 Roumiana N. Tsenkova et al., "Near-infrared spectroscopy for dairy management: measurement of unhomogenized milk composition", *Journal of Dairy Science*, vol. 82, n. 11, pp. 2344-2351, 1999. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75484-6

19 Brasil, Ministério da Agricultura e Pecuária, "RTIQ – Leite e seus derivados", 2020, disponível em : https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/suasa/regulamentos-tecnicos-de-identidade-e-qualidade-de-produtos-de-origem-animal-1/rtiq-leite-e-seus-derivados. Acesso em 01 ago. 2025.

10.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A principal fonte de inspiração para a produção do caso foi o componente curricular 7500060 - Química de Alimentos II, cursado pelas duas primeiras autoras durante o curso de Bacharelado em Química do Instituto de Química de São Carlos, no qual participaram de uma atividade promovida por estagiário do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE)[20], que consistiu na análise sensorial de diversos alimentos, incluindo diferentes tipos de leite (com e sem lactose) e também alguns derivados (leite condensado e doce de leite).

O referido componente curricular tem como parte da ementa o estudo da "Química do leite e derivados: composição química do leite, carboidratos do leite, caseínas e lactoglobulinas, gordura do leite, química da produção de leite pasteurizado, UHT e em pó, creme, manteiga, queijo e iogurte. Química do sabor de produtos lácteos".

10.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

O caso do leite com coloração escura na fábrica Vaca Dourada apresenta duas hipóteses principais que exigem investigação científica.

10.4.1 TRATAMENTO TÉRMICO INADEQUADO

A primeira hipótese sugere que o tratamento térmico inadequado no tanque de esterilização antigo acelerou a reação de Maillard[21], que é responsável pelo escurecimento e ocorre entre açúcares redutores (como a lactose) e proteínas do leite[22]. Trata-se de uma cascata complexa de transformações que produz mela-

20 Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade de São Paulo, "Programa de Aperfeiçoamento de Ensino", 02. jul. 2024, disponível em: https://www.prpg.usp.br/pt-br/pae/o-que-pae. Acesso em 01 ago. 2025.

21 Hans-Dieter Belitz, Werner Grosch e Peter Schieberle, *Food Chemistry*, 4 ed., 2009. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7

22 M.A.J.S. Van Boekel, "Effect of heating on Maillard reactions in milk", vol. 62, n. 4, pp. 403-414, 1998. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00075-2

noidinas, pigmentos marrons[23]. Quando o tanque de esterilização, já conhecido por falhas no controle de temperatura, submete o leite a condições térmicas excessivas, essa reação se intensifica. A confirmação dessa hipótese exigiria análises como a quantificação do 5-hidroximetilfurfural (5-HMF) por espectrofotometria, um intermediário da reação, cuja concentração aumentaria em condições térmicas inadequadas[24]. O método, embora demande preparo de amostra com digestão ácida e derivatização com ácido tiobarbitúrico[25], forneceria dados concretos sobre a extensão do processamento excessivo.

Paralelamente, a técnica de HPLC para dosagem de furosina ofereceria outra perspectiva[26]. Como produto da hidrólise ácida dos compostos de Amadori (etapa inicial da reação de Maillard), níveis elevados de furosina confirmariam o processamento térmico exagerado. Embora precise de 23 horas de hidrólise ácida prévia, esse método cromatográfico apresenta precisão comprovada na literatura[27].

10.4.2 CONTAMINAÇÃO RESIDUAL COM LACTASE

A segunda hipótese, igualmente plausível, considera que resíduos de lactase no tanque, utilizado anteriormente para testes de leite sem lactose, poderiam ter hidrolisado a lactose do lote atual em glicose e galactose[28]. Os monossacarídeos são mais reativos que a lactose, mas também estão presentes em maior quantidade (1 molécula de lactose é hidrolisada em 2 moléculas de monossacarídeos). Dessa forma, o aumento da concentração de açúcares redutores no sistema desloca o equilíbrio a favor dos produtos na reação de Maillard e, portanto,

---

23 Júlia d'Almeida Francisquini *et al.*, "Reação de Maillard: uma revisão", *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, vol. 72, n. 1, pp. 48-57, 2017. https://doi.org/10.14295/2238-6416.v72i1.541.

24 Júlia d'Almeida Francisquini *et al.*, "Avaliação da intensidade da reação de Maillard, de atributos físico-químicos e análise de textura em doce de leite. *Revista Ceres*, vol. 63, n. 5, pp. 589-596, 2016. https://doi.org/10.1590/0034-737X20166305000

25 Sebastian Imperiale *et al.*, "Fast detection of 5-hydroxymethylfurfural in dulce de leche by SPE-LC–MS", *Food Analytical Methods*, vol. 15, n. 1, pp. 1-9, 2022. https://doi.org/10.1007/s12161-021-02093-2

26 Pierpaolo Resmini, Luisa Pellegrino e Giovanna Battelli, "Accurate quantification of furosine in milk and dairy products by a direct HPLC method", *Italian Journal of Food Science*, n. 3, pp. 173-183, 1990.

27 Young-Hee Cho, Sung-Moon Hong e Cheol-Hyun Kim, "Determination of lactulose and furosine formation in heated milk as a milk quality indicator, *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, vol. 32, n. 5, pp. 540-544, 2012. https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.5.540

28 Owen R. Fennema, Srinivasan Damodaran e Kirk Parkin, *Fennema's Food Chemistry*, 5 ed., Boca Raton, CRC Press, 2017.

também contribui para a aceleração da reação[29]. Para verificar tal possibilidade, duas abordagens analíticas se mostram adequadas: a crioscopia[30], que detectaria a alteração no ponto de congelamento devido ao aumento de partículas em solução, e a cromatografia iônica[31], método oficial do Ministério da Agricultura e Pecuária, que quantificaria diretamente a lactose residual. Apesar da crioscopia ser mais acessível, a cromatografia ofereceria dados mais precisos e conclusivos.

Entre as duas hipóteses, a primeira se mostra mais provável considerando o histórico documentado de falhas no tanque de esterilização. A manutenção preventiva do equipamento, aliada às análises químicas propostas, não apenas resolveria o problema imediato, como implementaria controles de qualidade mais robustos. A combinação de dados instrumentais com a avaliação técnica do equipamento reflete os desafios multifatoriais da indústria de alimentos, na qual parâmetros químicos (como a concentração de 5-HMF) interligam-se com variáveis operacionais.

10.5 PARA SABER MAIS

10.5.1 ATIVIDADES LÚDICAS E INVESTIGATIVAS SOBRE FRAUDE NO LEITE PARA O ENSINO DE QUÍMICA E REFLEXÃO MORAL[32]

O artigo descreve um projeto para ensinar química a alunos do ensino fundamental e médio usando o tema da fraude no leite. A partir da história "Os Três Irmãos Fazendeiros", os estudantes realizaram investigações para descobrir qual irmão era honesto. Eles realizaram experimentos para detectar a adulteração do leite com água, que era mascarada pela adição de amido ou cloreto de sódio, e também aprenderam sobre densidade e reações químicas, ao identificar os adulterantes com testes de mudança de cor, usando lugol para o amido e nitrato de prata para o cloreto. A atividade lúdica gerou grande interesse, principalmente

29 Leen Mortier *et al.*, "Intrinsic indicators for monitoring heat damage of consumption milk", *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, vol. 4, n. 4, pp. 221-225, 2000.

30 Leandra N. de Oliveira Neves e Marcone A. Leal de Oliveira, "Assessment of enzymatic hydrolysis of lactose in lactose-free milk production - a comparative study using capillary zone electrophoresis and cryoscopy", *LWT*, vol. 138, 2021. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110585

31 Sarah Erich, Theresa Anzmann e Lutz Fischer, "Quantification of lactose using ion-pair RP-HPLC during enzymatic lactose hydrolysis of skim milk", *Food Chemistry*, vol. 135, n. 4, pp. 2393-2396, 2012. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.059

32 Mariana Souza Leal *et al.*, "Atividades lúdicas e investigativas sobre fraude no leite para o ensino de química e reflexão moral", *Química Nova na Escola*, vol. 46, n. 4, pp. 611-617, 2024. http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160384

no ensino fundamental. No ensino médio, questionários apontaram alto índice de acerto (acima de 91%), demonstrando a eficácia educativa da abordagem. O projeto uniu com sucesso aprendizado, investigação científica e reflexão sobre honestidade.

10.5.2 LEITE EM 'MAMA' ÁFRICA E A EDUCAÇÃO PARA AS RELAÇÕES ÉTNICO-RACIAIS (ERER) NO ENSINO DE QUÍMICA[33]

A abordagem do artigo parte da descoberta da produção leiteira no norte da África no século V a.C., ressignificando a história e a tecnologia sob uma perspectiva não eurocêntrica. O tema serve de contexto para ensinar conceitos químicos, como reações de separação de substâncias, por meio de ensaios qualitativos para detectar fraudes no leite (adição de amido, ácido bórico etc.). A proposta visa à valorização da cultura afro-brasileira e africana, cumprindo as diretrizes legais e promovendo um deslocamento epistêmico no currículo de ciências. O objetivo é tornar o ensino mais representativo e crítico ao conectar a ciência a questões sociais, históricas e culturais.

33 Juvan P. da Silva *et al.*, "Leite em 'mama' África e a educação para as relações étnico-raciais (ERER) no ensino de química", *Química Nova na Escola*, vol. 42, n. 1, pp. 4-12, 2020. http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160183

CAPÍTULO 11

ESTUDO DE CASO: **O DESAFIO DO MALTE**

GUSTAVO VASCONCELOS GOMES[1]
WINNIE EVELYN VALERIA PEREZ VITE[2]
PABLLO ABREU ALVES[3]

Clara vive na cidade de Pilsenburgo. Desde pequena, ela sempre foi muito curiosa e tinha interesse pelas coisas que a rodeavam. Seu pai, Daniel, trabalha como mestre cervejeiro e é dono de uma pequena cervejaria artesanal na cidade, onde se dedica com paixão à produção de cervejas especiais. Nas conversas de família ele frequentemente comentava sobre as etapas do processo de fabricação, mas Clara nunca havia tido a chance de acompanhar isso de perto.

Em uma bela tarde de sábado, Clara decidiu visitar a cervejaria. Algo nas explicações que seu pai dava sempre deixava sua imaginação fervilhando, e ela finalmente quis ver com seus próprios olhos como tudo funcionava. Ao chegar, Clara foi recebida por ele, que a guiou pela fábrica, mostrando cada detalhe com entusiasmo.

– Aqui é onde o processo de mosturação acontece. Nessa etapa todo o malte moído é misturado com água quente para remover os açúcares do malte. Após esse processo, tem que tirar todo o resto de bagaço de malte.

Daniel apontou para um grande recipiente cheio de um material marrom claro, que estava próximo ao equipamento.

– Tudo isso aqui é o bagaço de malte, que sobra após a produção da cerveja.

– Nossa, é muita coisa, né? E o que você faz com isso, pai? Joga tudo fora?

– Infelizmente, sim. Nós tentamos doar para alguns agricultores locais de vez em quando, mas a maioria acaba indo para o lixo.

– Será que não tem nenhuma utilidade para isso? Parece ser muito rejeito para jogar fora dessa forma!

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

Clara passou o resto da visita à fábrica distraída, pensando na quantidade de resíduo que já havia sido descartado. Ao final, esperou seu pai terminar o serviço e foi para casa com uma curiosidade e a sensação de que poderia fazer algo para evitar todo aquele descarte. Chegando em casa ela enviou uma mensagem para seu amigo Filipe, um estudante de química, para buscar ajuda com relação à situação.

– Oi, Filipe! Tudo bem, contigo? Hoje fui ver a fábrica do meu pai. Você acredita que ele joga fora um monte de bagaço de malte? Será que não tem como aproveitar isso?

Coloque-se na posição de Filipe e ajude Clara, propondo pelo menos duas soluções que resultem no reaproveitamento do bagaço do malte gerado pela cervejaria e argumente a favor de uma delas.

11.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

O caso aborda a produção da cerveja e o descarte consciente de resíduos contendo malte, englobando assim questões ambientais, econômicas, sociais e de logística, com potencialidade para promover discussões diversas, em contextos variados de componentes curriculares.

O malte é um ingrediente fundamental na produção da cerveja, sendo feito a partir de grãos, geralmente de cevada, que passam pelo processo de maltagem: hidratação, germinação, secagem e torra. Durante a germinação, o grão começa a se desenvolver como planta, processo estimulado pela hidratação e interrompido pela secagem. Isso promove a formação de enzimas, açúcares fermentáveis e nutrientes cruciais para a fermentação alcoólica, sendo essencial na fabricação da cerveja. Outrossim, o malte pode apresentar características variadas, dependendo da intensidade e duração da secagem durante a maltagem[4].

O malte também é utilizado na etapa de mostura, onde é moído e adicionado à água quente. Esse processo tem como objetivo extrair os açúcares fermentáveis do grão, transferindo-os para a água, resultando no mosto, um líquido rico em nutrientes. Durante a fabricação da cerveja o mosto recebe ainda a adição de leveduras, que promovem a fermentação, e de lúpulo, uma planta que confere amargor, aromas característicos e atua como conservante e estabilizante natural.

4 George G. Stewart, "Beer: raw materials and wort production", *Encyclopedia of Food and Health*, pp. 355-363, 2016. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00058-1

Ingredientes adicionais, como especiarias e frutas, também podem ser incluídos para criar novos sabores e aromas, embora isso seja opcional. Após o processo de fermentação, o mosto transforma-se na cerveja pronta para consumo[5].

O tipo, a quantidade e o tratamento do malte impactam diretamente as características sensoriais da cerveja, como sabor, cor e textura. Por exemplo, existem maltes mais claros e adocicados, bem como maltes escuros, que podem apresentar notas de caramelo, chocolate ou café. Existem também diferentes tipos de malte, como o malte base, que é usado como principal fonte de açúcares, e maltes especiais, que são adicionados para dar características específicas à bebida.

Após cumprir sua função no processo de fabricação, o bagaço do malte torna-se um rejeito industrial. Em 2023, estima-se que tenham sido gerados 5 milhões de toneladas desse resíduo[6]. Diante desse panorama, emergem questionamentos relevantes: quais são os impactos ambientais do descarte inadequado do bagaço de malte? E como garantir que ele seja descartado de forma correta?

Pode-se apontar, como um impacto indesejado do descarte inadequado do bagaço do malte, o seu acúmulo no solo e em corpos hídricos. Isso resulta em poluição no solo e na água. Esse acúmulo pode, por exemplo, ocasionar a eutrofização, um aumento descontrolado de nutrientes que favorece o crescimento de cianobactérias e algas na superfície da água, impedindo a passagem efetiva da luz solar, atrapalhando o processo de fotossíntese dentro dos corpos d'água e, consequentemente, matando os animais marinhos por insuficiência de oxigênio dissolvido. Portanto, tendo em vista que o setor cervejeiro cresce a cada ano, assim como uma melhor preservação ambiental, é necessário que as indústrias cervejeiras busquem formas alternativas ao descarte do bagaço do malte.

As características do malte, a sua utilização no processo industrial e os impactos ambientais gerados pelos descartes podem ser exploradas em aulas que envolvam processos químicos, fermentação, nutrição humana e animal, agrotóxicos, adubação, propriedades organolépticas, química de alimentos, agricultura e processos industriais, podendo-se citar os seguintes componentes curriculares: Química Orgânica; Análise de Compostos Orgânicos; Química Orgânica Tecnológica; Princípios de Processos Químicos; Processos Biotecnológicos na Indústria de Alimentos; Química Ambiental; Química de Alimentos.

Os processos de maltagem e mostura também podem ser abordados em componentes curriculares relativos à química industrial, já que, além de conceitos

5 Larissa Bicalho Pimenta *et al.,* "A história e o processo da produção da cerveja: uma revisão", *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 37, n. 3, e26715, 2020. https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26715

6 Mauricio Marsarioli, "Identificação e avaliação de geração de resíduos em processo de produção de cerveja em microcervejaria e proposição de reutilização", dissertação de mestrado, Lajeado, Universidade do Vale do Taquari, 2019.

químicos, temas vinculados à tecnologia e processo industrial podem ser discutidos. Dentre os possíveis componentes estão: Tecnologias Aplicadas à Química Industrial; Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal; Projeto Tecnológico em Química; Microbiologia Alimentar; Bromatologia (Química Bromatológica).

As discussões que podem surgir a partir das temáticas presentes no caso propiciam o cumprimento de recomendações existentes nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química[7]. Com efeito, dentre as habilidades citadas como desejáveis de um graduado em química estão: "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); "Saber realizar avaliação crítica da aplicação do conhecimento em Química tendo em vista o diagnóstico e o equacionamento de questões sociais e ambientais" (p. 5); "Ter noções dos principais processos de preparação de materiais para uso da indústria química (...)" (p. 5); "Saber realizar o controle de operações ou processos químicos no âmbito de atividades de indústria, vendas, marketing, segurança, administração pública e outras (...)" (p. 5).

11.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Tendo como base os critérios elencados por Herreid *et al.*[8], o caso aqui apresentado pode ser classificado como um bom caso. Isso se deve, primeiramente, por ser curto, ocupando uma única página. Ademais, espera-se que o caso seja capaz de manter a atenção do leitor, algo fomentado pela simplicidade da pergunta motivadora, que possibilita a discussão de diversos tópicos, como química ambiental e descarte de resíduos.

Um bom caso abarca conflitos, algo presente no caso, acerca de qual o melhor destino para o resíduo de malte, sendo que existem diversas possibilidades de reúso, evitando assim contaminações ambientais. Vale ressaltar que não existe um procedimento padrão e obrigatório para esse descarte ou reúso, abrindo margem para que diferentes estratégias sejam adotadas.

O caso também é de fácil compreensão e adota uma linguagem acessível, além de apresentar um elemento de humor ao colocar o nome da cidade como uma referência a um tipo de cerveja, a Pilsen. Além disso, os personagens são facil-

7 Brasil, Ministério da Educação, "Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química", disponível em: https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf. Acesso em 01 ago. 2025.

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.

mente identificáveis e precisam confrontar uma situação factível de acontecer na carreira de um químico. Isso tudo causa empatia nos leitores, que acabam conectando-se com o caso.

Por conseguinte, o caso apresenta um problema que aceita diversas soluções, incentivando os alunos a refletir sobre a situação em um contexto amplo, além de utilizar o pensamento crítico e a habilidade de tomada de decisão na escolha das suas respostas.

Finalmente, pode-se dizer que o caso é atual, já que o Brasil é um dos países que mais consome cerveja no mundo[9], além da indústria cervejeira ser uma das que mais crescem anualmente. Nesse contexto, destacam-se os dados do Ministério da Agricultura e Pecuária que revelaram um aumento de 12% no setor entre 2021 e 2022 e um crescimento adicional de 6,8% de 2022 para 2023, totalizando 1847 cervejarias em atividade no país. Ademais, estima-se que a produção nacional de cerveja, em 2023, tenha alcançado cerca de 14 bilhões de litros[10]. Existe ainda um fator cultural muito forte, já que é comum consumir cerveja em estádios de futebol, o esporte mais popular no Brasil e um dos mais famosos do planeta[11].

A jornada da cerveja propriamente dita no Brasil teve início na ocupação de Pernambuco por parte dos holandeses (1634-1654), embora os indígenas nativos já fabricassem para consumo próprio uma bebida oriunda da fermentação de grãos[12]. Outro marco foi a criação da primeira cervejeira do país, algo ocorrido em Recife no século XVII[13]. Mesmo assim, foram necessários séculos para que a cultura cervejeira começasse a ser abraçada pelos brasileiros, algo que começou com a criação da Companhia Antarctica Paulista e da Manufactura de Cerveja Brahma Villiger & Companhia. No decorrer do século XX, essas duas empresas passaram a dominar a indústria cervejeira no país, abrindo filiais em boa parte

9 Edin Lakasing, Zul A. Mirza, "Football and alcohol: a short diary of a long and complex relationship", *London Journal of Primary Care*, vol. 2, n. 1, pp. 78-80, 2009. https://doi.org/10.1080/17571472.2009.11493253

10 Brasil, Ministério da Agricultura e da Pecuária, "Anuário da Cerveja 2024", 2024, disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/anuarios-de-produtos-de-origem-vegetal-pasta/anuario-da-cerveja-2024-ano-referencia-2023/view. Acesso em 01 ago. 2025.

11 Hilário Franco Júnior, "Brasil, país do futebol?", *Revista USP*, n. 99, pp. 45-56, 2013. https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i99p45-56

12 Victor de Vargas Giorgi, "Cultos em cerveja: discursos sobre a cerveja artesanal no Brasil", *Sociedade e Cultura*, vol. 18, n. 1, pp. 101-111, 2015. https://doi.org/10.5216/sec.v18i1.40607

13 Tatiana Rotolo, Eduardo Marcusso, "A cerveja no Brasil Holandês: notas sobre a instalação da primeira cervejaria do Brasil", *Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade*, vol. 6, n. 1, pp. 74-93, 2019.

do território nacional. Esse domínio passa a se consolidar ainda mais com a fusão, em 1999, das duas empresas, formando a Companhia de Bebidas das Américas[14].

Diversas outras produtoras de pequeno, médio e grande porte começaram a surgir a partir dos anos 2000, com a criação, por exemplo, da Eisenbahn e da Colorado, que se baseavam muito na ideia de consumo local, criando laços culturais e sociais com as populações mais próximas das fábricas[15]. Além disso, observa-se, no decorrer das duas primeiras décadas do século XXI, a estruturação de uma "cultura cervejeira" no Brasil, algo motivado não somente pelo crescimento do consumo e da indústria em si, mas pela promoção de festivais, eventos relacionados com a produção e o consumo de cerveja.

Essa cultura, que também envolve formas singulares de comunicação e atitudes próprias, tem fortes inspirações em movimentos cervejeiros da Europa e dos Estados Unidos da América, que se formaram com base em um processo contemporâneo de "gourmetização" dos alimentos e bebidas. Ou seja, acrescentar variantes mais sofisticadas ou que aparentam ser de alta qualidade de produtos já amplamente conhecidos, revitalizando certos tipos de comércio e colocando uma função que vai além do nutrir[16]. Outrossim, existe uma questão de classes sociais no consumo da bebida, algo apontado por Pierre Bourdieu[17], já que pessoas pertencentes a classes com menor poder aquisitivo, conseguem comprar bebidas consideradas de "luxo", criando uma falsa sensação de aproximação entre realidades distintas, o que alegra algumas delas.

Todo esse movimento recente, por exemplo, acabou por fomentar a criação de microcervejarias por todo o país, algumas delas cadastradas na Associação Brasileira de Cerveja Artesanal[18]. Muitos desses produtores, além de visarem a produção de linhas gourmet, fabricam cervejas para públicos específicos, como aqueles que possuem restrições alimentares e os que buscam uma vida mais saudável, o que ajuda a compor uma cultura de público diversificado e abrangente, dando combustível para o ciclo cervejeiro no Brasil.

A indústria cervejeira, conforme mencionado, está em destaque atualmente e o reúso do bagaço do malte é um assunto que passa a ganhar relevância. Com isso, dadas as informações expostas e a contemporaneidade do tema, justifica-se assim a sua relevância.

---

14 Sérgio de Paula Santos, *Os primórdios da cerveja no Brasil*, São Paulo, Ateliê Editorial, 2004.

15 Tatiana Rotulo, "Cultura Cervejeira: breve história da cerveja artesanal", *Revista Ingesta*, vol. 1, n. 2, pp. 141-142, 2019. https://doi.org/10.11606/issn.2596-3147.v1i2p141-142

16 Valter Palmieri Júnior, *A gourmetização em uma sociedade desigual [recurso eletrônico]: um estudo sobre a diferenciação no consumo de alimentos industrializados no Brasil*, tese de doutorado, Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2017.

17 Pierre Bourdieu, *A distinção: crítica social do julgamento*, São Paulo, Edusp, 2007.

18 Associação Brasileira de Cerveja Artesanal, disponível em: https://abracerva.com.br. Acesso em 01 ago. 2025.

11.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A inspiração principal para o caso tem como base a experiência, relatada pelo primeiro autor deste capítulo, que trabalhou em uma cervejaria. Lá, ele foi confrontado com o problema do descarte do bagaço do malte, algo que não possui um procedimento fixo, abrindo espaço para que estratégias sejam pensadas.

11.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Tendo em vista as opções de reúso para o bagaço do malte oriundo da indústria cervejeira, quatro opções se destacam: alimentação de animais; alimentação humana; biocombustível e fonte de energia renovável; e fertilização do solo.

11.4.1 ALIMENTAÇÃO DE ANIMAIS

Reportagens recentes, entre 2022 e 2024, destacaram a possibilidades de uso para o bagaço do malte, como a produção de proteína vegetal, sendo uma opção alternativa à carne, algo pesquisado na Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas[19]. Assim, esses produtos de origem vegetal apresentam uma opção mais saudável, com menos aditivos e conservantes, sendo complementar e alternativa aos alimentos de origem animal.

A primeira solução proposta para o caso está fundamentada no reúso do resíduo de malte para a alimentação de animais, em específico os que são criados na pecuária, como os ruminantes. Um dos fatores que possibilita esse uso é o fato do malte possuir proteínas que não são degradadas no rúmen, fazendo com elas sejam efetivamente absorvidas pelo intestino delgado[20].

Estudos mostram aplicações bem sucedidas do extrato de malte na dieta de aves e vacas leiteiras, sendo um bom substituto de algumas fontes de amido e

19 Felipe Mateus, "Resíduo da indústria cervejeira tem alto valor nutricional", *Jornal da Unicamp*, 705 ed., 2024, disponível em: https://jornal.unicamp.br/edicao/705/residuo-da-industria-cervejeira-tem-alto-valor-nutricional/. Acesso em 01 ago. 2025.

20 Jéssica Motta Carvalho *et al.*, "Utilização do bagaço de malte como alimentação animal: uma alternativa para o pequeno produtor", *Cadernos UniFOA*, vol. 16, n. 46, 2021. https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v16.n46.3411

açúcar, como o milho moído, apresentando também um bom teor de carboidratos fermentáveis e atividade antioxidante atrelada ao seu conteúdo de vitamina E[21].

Mesmo sendo muito vantajoso na nutrição animal, existem pontos negativos com relação ao uso do bagaço do malte, como a sua alta umidade, o que aumenta sua chance de mofar[22], e o fato dele não ser suficiente para uma alimentação balanceada dos ruminantes e seu acesso dificultado nos casos em que as indústrias cervejeiras estejam localizadas longe da criação de animais.

No que tange aos processos que ocorrem no sistema digestivo dos ruminantes, cabe destacar a produção de metano e dióxido de carbono, no rúmen, a partir da fermentação de acetatos, butiratos e propanoatos presentes em carboidratos fibrosos e não fibrosos. O malte, por possuir carboidratos de fermentação rápida, diminui a produção desses gases de efeito estufa. Além disso, o rúmen também ajuda na digestão de gliceróis, galactoses, peptídeos, aminoácidos e gorduras saturadas, produzindo ligninas, gorduras e proteínas a serem enviadas ao intestino nos animais[23].

Por fim, vale ressaltar que essa é a opção de reúso mais utilizada atualmente, não só por sua facilidade e baixo custo, mas por gerar uma aproximação com outro setor muito forte no Brasil, o da agropecuária.

11.4.2 ALIMENTAÇÃO HUMANA

O bagaço do malte também pode ser utilizado na alimentação humana, aumentando o teor de fibras e proteínas de alimentos diversos. Um exemplos desse uso está pautado na substituição de parte da farinha de trigo por bagaço de malte em alimentos oriundos da panificação, como biscoitos, lanches prontos, pães, bolos, panquecas, waffles e muffins[24].

Algumas substâncias e grupos de compostos provenientes desse bagaço também são apontados como benéficos para a saúde humana, como polissacarídeos, pentoses, ácidos graxos, glicerídeos, fitoesteróis e ácidos hidroxicinâmicos (apre-

---

21 Milena Bugoni *et al.*, "Dry malt extract from barley partially replacing ground corn in diets of dairy cows: nutrient digestibility, ruminal fermentation, and milk composition", *Journal of Dairy Science*, vol. 105, n. 7, pp. 5715-5722, 2022. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21682

22 Beatriz Cristina Silvério, "Isoconversional kinetic analysis of pyrolysis of malt waste", *Materials Science Forum*, vol. 899, pp. 107-112, 2017. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.899.107

23 Janice I. Mccauley *et al.*, "Management of enteric methanogenesis in ruminants by algal-derived feed additives", *Current Pollution Reports*, vol. 6, pp. 188-205, 2020. https://doi.org/10.1007/s40726-020-00151-7

24 Camila Mattos, *Desenvolvimento de um pão fonte de fibras a partir do bagaço de malte*, trabalho de conclusão de curso, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

sentam atividade antioxidante). Assim, fica claro também que esses resíduos de malte são bioativos e capazes de melhorar a saúde e a nutrição humana.

Uma reportagem da *Food and Beverage Journal*[25] relata que o malte é uma ótima opção com relação a outros aditivos açucarados. O malte é rico em maltose, que se quebra em glicose, o açúcar mais utilizado nas células do corpo humano, sendo que as hemácias, por exemplo, só conseguem utilizar a glicose como fonte de energia. Ademais, a maltose não apresenta riscos para o fígado humano, algo normalmente associado ao uso da frutose, um dos açúcares mais populares e que é metabolizado pelo fígado. Assim, o malte é uma excelente opção para lanches prontos (snacks), já que, além de não apresentar frutose, possui mais nutrientes que outras fontes de glicose, como xaropes de milho, trigo e tapioca.

Outra aplicação que chama a atenção é a exposta no portal de notícias UOL, na sua seção de meio ambiente, que relata o cultivo de cogumelos comestíveis do tipo Shittake utilizando bagaço do malte como fertilizante, já que ele é rico em lignocelulósicos: hemicelulose, celulose e lignina[26]. Por fim, uma reportagem da Associação das Emissoras de Radiodifusão do Paraná relata, como resultado de uma pesquisa científica, a produção de whisky a partir do bagaço de malte refermentado[27]. Todas essas reportagens captam a atenção do leitor, trazendo inovações com relação ao reúso do descarte do malte da indústria cervejeira.

Mesmo com todos esses pontos positivos, que apontam para um material de baixo custo e que é capaz de agregar valor nutricional e proteico a vários alimentos, a preparação de alimentos para humanos, por ser um processo mais elaborado que a nutrição animal, pode não suprir a demanda de reúso dos resíduos produzidos no Brasil. Outro aspecto a ser avaliado diz respeito à composição do bagaço do malte, algo que depende da qualidade da cevada utilizada e dos parâmetros de controle utilizados no processo cervejeiro, influenciando nas características finais do alimento produzido. Assim, não é possível manter uma consistência quanto aos alimentos gerados: a composição química pode mudar drasticamente de um para o outro.

---

25 Amy Targan, "Malt extract can do it all for clean label snacks", *Food and Beverage Insider*, 2020, disponível em: https://maltproducts.com/maltproducts/2020/04/17/malt-extract-can-do-it-all-for-clean-label-snacks-2/. Acesso em 01 ago. 2025.

26 Ed Rodrigues, "Pesquisador cultiva cogumelos a partir de resíduos de cervejaria no PR", *Portal Ecoa UOL Meio Ambiente*, 4 abr. 2022, disponível em: https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2022/04/04/pesquisador-cultiva-shiitakes-a-partir-de-residuos-de-cervejaria-no-pr.htm. Acesso em 01 ago. 2025.

27 AERP, "Veja como pesquisador da UFPR transformou bagaço do malte em whisky e vinagre", *Associação das Emissoras de Radiodifusão do Paraná*, 4 nov. 2023, disponível em: https://aerp.org.br/redeaerp/veja-como-pesquisador-da-ufpr-transformou-bagaco-do-malte-em-whisky-e-vinagre/. Acesso em 01 ago. 2025.

11.4.3 BIOCOMBUSTÍVEL E FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL

O bagaço do malte forma uma biomassa, ou seja, um material orgânico proveniente de plantas e que apresenta celuloses, hemiceluloses e ligninas em sua composição. O bagaço é passível do processo de pirólise, no qual ocorre uma decomposição química na ausência de oxigênio, formando produtos gasosos, líquidos e sólidos. Tais produtos, por sua vez, podem ser utilizados como combustíveis, já que possuem alto poder calorífico[28].

Um outro exemplo dessa aplicação é exposto no trabalho de Andrews *et al.*[29], que relata o uso do bagaço do malte como um dos componentes de uma biomassa oriunda dos descartes de uma indústria de whisky à base de cevada. Essa biomassa, como visto anteriormente, possui alto poder calorífico e ajuda na economia circular da indústria, permitindo que a própria destilaria utilize seu descarte na fabricação de um combustível capaz de gerar energia dentro do processo produtivo.

11.4.4 FERTILIZAÇÃO DO SOLO

No que tange ao uso do bagaço de malte para a fertilização do solo, alguns estudos já foram reportados, incluindo a análise da sua eficiência no aumento da taxa de crescimento de plantas, algo que mostrou um resultado positivo[30]. O bagaço do malte possui uma composição química rica em nutrientes, proteínas, antioxidantes e diversas substâncias capazes de promover o bom desenvolvimento de plantas e da microbiota do solo. Dentre essas substâncias, podem ser citados carotenoides, compostos fenólicos, minerais e fibras. A microbiota, por sua vez, aumenta a produtividade e fertilidade do solo, sendo crucial para um bom crescimento das plantas, promovendo mais sustentabilidade[31].

---

28 João Victor Pinto Pimentel, "Valorização do resíduo cervejeiro a partir da pirólise: desafios e oportunidades", trabalho de conclusão de curso, Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023.

29 Gordon E. Andrews *et al.*, "Whisky decarbonisation potential using bio-waste", *Fuel*, vol. 380, 133188 , 2025. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.133188

30 Hércules Gonçalves de Almeida Medeiros *et al.*, "Sustainable reuse of barley malt waste (BMB) from industrial production of craft beer for the cultivation of maize", *Revista Observatorio de la Economia Latinoamericana*, vol. 22, n. 1, pp.725-744, 2024. https://doi.org/10.55905/oelv22n1-039

31 Paôla da Conceição Campos Malta e Juliano de Carvalho Cury, "Reaproveitamento do bagaço de malte proveniente da produção de cerveja artesanal para a produção de composto orgânico", *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, vol. 2, n. 2, pp. 90, 2021. https://doi.org/10.51189/rema/1774

Com essas informações em mente, fica claro que o uso do resíduo do malte como fertilizante é uma ótima opção para substituir os produtos tradicionais, que costumam ser tóxicos e causam problemas de saúde a longo prazo, além de contaminações em diversos ecossistemas, sejam eles terrestres ou aquáticos. Embora seja difícil elencar pontos negativos com relação a esse uso do resíduo de malte, pode-se apontar a barreira logística em casos nos quais a indústria está situada distante das plantações e a dificuldade em se saber ao certo a eficácia desse tipo de fertilizante, já que não existe um controle quanto a sua composição.

Basicamente todas as possíveis aplicações do bagaço de malte podem sofrer dos mesmos problemas: logística de transporte e não uniformidade da composição química do resíduo. Ademais, parte das opções de reúso demandam tempo e a transformação do bagaço em um produto novo. Nesse sentido, o uso como fertilizante ou alimento animal são as opções mais viáveis, pois não necessitam de um tratamento elaborado e o bagaço pode ser aplicado em grandes quantidades, já que a demanda é bem alta. Porém, isso não tira a importância dos outros usos, que devem ser incentivados e pesquisados.

11.5 PARA SABER MAIS

11.5.1 "CULTOS EM CERVEJA": DISCURSO SOBRE A CERVEJA ARTESANAL NO BRASIL[32]

O trabalho traz um breve histórico da indústria cervejeira no Brasil, além de discutir a formação de uma "cultura cervejeira" nacional, incluindo seus aspectos sociais, culturais e econômicos. Assim, a bebida não é somente discutida como um produto alimentício, mas como um objeto social, que pode ser visto como um item de luxo ou até como uma experiência sensorial.

11.5.2 INOVAÇÕES CERVEJEIRAS[33]

A reportagem traz um panorama recente de como as inovações tecnológicas vêm sendo implementadas na indústria cervejeira brasileira e como o setor pode ser fomentado visando baratear os custos de produção e melhorar a qualidade da

32 Victor de Vargas Giorgi, "Cultos em cerveja: discursos sobre a cerveja artesanal no Brasil", *Sociedade e Cultura*, vol. 18, n. 1, pp. 101-111, 2015. https://doi.org/10.5216/sec.v18i1.40607

33 Yuri Vasconcelos, "Inovações cervejeiras", *Revista Pesquisa FAPESP*, 3 ago. 2021, disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/inovacoes-cervejeiras/. Acesso em 01 ago. 2025.

cerveja. Também é traçada uma visão geral acerca do processo de produção da bebida, suas características, os seus principais componentes e qual a relação que ela tem com Brasil, tanto historicamente quanto economicamente.

11.5.3 CERVEJA EGÍPCIA? EDUCAÇÃO PARA AS RELAÇÕES ÉTNICO-RACIAIS (ERER) NA FORMAÇÃO DOCENTE EM QUÍMICA[34]

O artigo aborda a produção da cerveja, destacando sua origem africana, que se deu no Egito, e explicando a importância de compreender como os conhecimentos e as técnicas foram modificadas no decorrer do tempo. Além de discutir tópicos próprios da química e destacar a indústria cervejeira, o texto também contribui para a compreensão dos conhecimentos oriundos de povos historicamente excluídos.

34 Eliete Lucia Silva, Marysson Jonas Rodrigues Camargo e Anna Maria Canavarro Benite, "Cerveja egípcia? Educação para as relações étnico-raciais (ERER) na formação docente em química", *Química Nova*, vol. 45, n. 2, pp. 235-244, 2022. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170833

Diagrama
ACADÊMICO