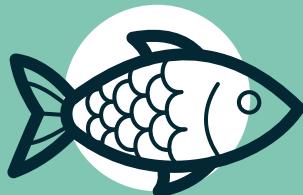


ESTUDOS DE CASO NO

Ensino de Ciências da Natureza 1

Química em Foco



ORGANIZADORES:

- Salete Linhares Queiroz
- Caio Moralez de Figueiredo

© 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 Wanessy 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
Pablio 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 Odílio Hilário Moreira Júnior - CRB-8/9949

Índice para catálogo sistemático:

1. Química 540
2. Química 54



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

CAPÍTULO 7

ESTUDO DE CASO: PEIXE TAMBÉM MORRE AFOGADO?

ADRIANA GRULI DE MELO¹
 GIOVANE SANTOS DOS REIS²
 RAFAEL CAVA MORI³

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.

Dante 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 Sorenson. 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 ecotoxicologia⁴.

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 existência⁵.

O caso pode contribuir também para a apropriação de conhecimentos para além daqueles preconizados nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química⁶: 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 Sorenson demonstra, como já ex-posto 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 Lavoisier, 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 pressuposto⁹. Isso talvez mereça ser comentado pelo docente, quando da exposição do caso aos estudantes.

Outra característica 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 conviadando-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, labororiais, agrícolas e mesmo em residênc-

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 sociais¹⁰.

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 impactos¹¹, 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 Sorenson, tenha se tornado um fenômeno recorrente, o caso é diretamente inspirado em duas ocorrências, registradas em matérias jornalísticas recentes.

O primeiro evento¹³ 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 acontecimento¹⁴ 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 Sorenson 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 Sorenson. 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 morrer¹⁵.

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 abaixo¹⁶:

- Considera-se adequado que, em águas naturais e ao nível do mar, a concentração de oxigênio esteja em torno de 8 mg/L, a 25°C;
- 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/oxigidiss.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 sais¹⁷.

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 8,5¹⁸. 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 alcalinas¹⁹.

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”, *Environmental 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 gradients 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 hidróxidos²⁰.

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 cobras²¹.

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 espécies²². 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 aquático²³. 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. Porem, embora a hipótese possua base científica, não é válida para o caso dos peixes do lago Sorenson, 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 PEIXES²⁴

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 SUPERSATURATION²⁵

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>