



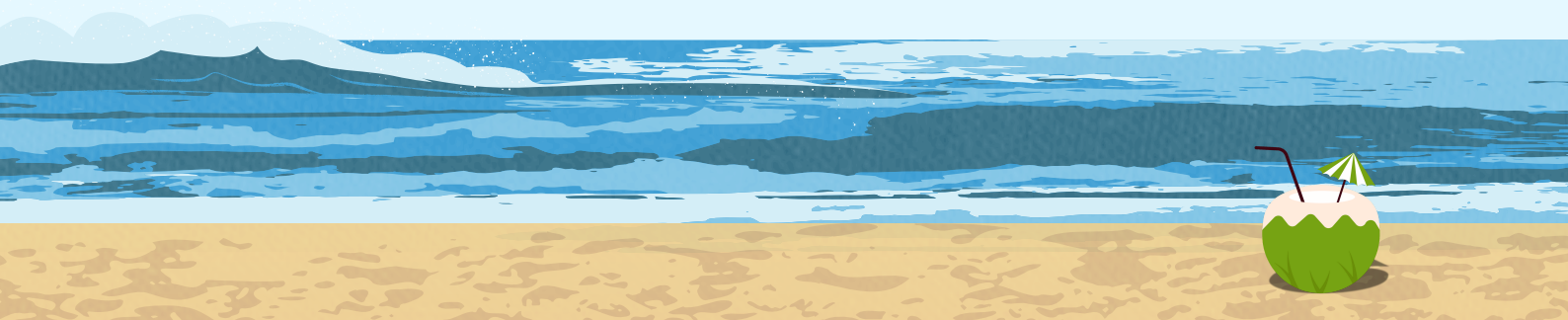
PÉ NA AREIA, ÁGUA DE COCO E PETRÓLEO NO MAR?



**ABORDANDO A CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA POR
PETRÓLEO E MÉTODOS ELETROANALÍTICOS
CAPAZES DE PROMOVER SUA DESCONTAMINAÇÃO.**



ELABORADO POR: [Giovanna Craveiro Marineli](#)
+ RECURSO DIGITAL POR: [Laiane Mendes Garrucho](#)
ORIENTADOR: [Amadeu Moura Bego](#)
COORDINADORA: [Juliana Ferreira de Brito](#)





Esta obra é licenciada sob uma licença **Creative Commons Atribuição-NãoComercial-Compartilhual (CC BY-NC-SA 4.0)**. Esta licença permite a cópia e redistribuição do material, em qualquer suporte ou formato, bem como sua tradução, adaptação e outras modificações, sem fins comerciais, desde que o crédito seja atribuído ao autor, que as alterações, se houver, sejam informadas e que as novas criações sejam licenciadas sob esta mesma licença. Os termos da licença são detalhados em <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.pt>.

Orientação: Amadeu Moura Bego

Coorientação: Juliana Ferreira de Brito

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Marineli, Giovanna Craveiro

Pé na areia, água de coco e petróleo no mar?: abordando a contaminação da água por petróleo e métodos eletroanalíticos capazes de promover sua descontaminação [recurso eletrônico] / Giovanna Craveiro Marineli e Laiane Mendes Garrucho. — Araraquara : Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, 2025.

27 p. : il. color. ; PDF.

1. Método de estudo de casos 2. Química 3. Eletrocatalise 4. Sites da Web 5. Água Poluição por Petróleo

Débora Marroco Ninin (bibliotecária responsável) - CRB 8/9343

Organização do Recurso Didático

Apresentação: Texto explicativo sobre o que é um Caso Investigativo (CI).

Carta ao professor: Texto dedicado aos docentes, apresentando o CI e o site do CI.

O Caso Investigativo: Apresentação do CI e link de acesso ao material diagramado.

Site do Caso Investigativo: Apresentação do CI em formato de site, visando maior engajamento dos alunos na aplicação do CI. Além disso, nessa seção apresentam-se os recursos de acessibilidade disponíveis no site.

Resoluções sugeridas para o CI: Apresentação de resoluções sugeridas para o CI, bem como a indicação dos conhecimentos químicos específicos passíveis de serem abordados no CI.

Proposta de aplicação do CI: Sugestão de aplicação do CI em uma disciplina da área de eletroanalítica que engloba os conceitos supracitados.

Habilidades e competências passíveis de serem desenvolvidas com a aplicação do CI: Essa seção ressalta como a aplicação do CI pode estimular o desenvolvimento de diversas habilidades e competências nos alunos.

Referências: Lista de referências utilizadas na elaboração do recurso didático.

Sumário

Organização do Recurso Didático.....	1
Apresentação.....	3
Agradecimentos.....	4
Carta ao professor.....	5
O Caso Investigativo.....	8
Site do Caso Investigativo.....	9
Recursos de acessibilidade do site.....	10
Resoluções sugeridas para o CI.....	12
Resoluções da Parte 1 do CI.....	12
Resoluções da Parte 2 do CI.....	15
Conhecimentos gerais passíveis de serem abordados no CI.....	18
Conhecimentos químicos específicos passíveis de serem abordados no CI.....	19
Proposta de aplicação do CI.....	21
Habilidades e competências passíveis de serem desenvolvidas com a aplicação do CI... 	23
Referências.....	25

Apresentação

A estratégia didática do uso de casos investigativos é uma variação do método Problem-Based Learning (PBL), também conhecido, em português, como Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). Esse método possui como objetivo aproximar os estudantes de seu futuro profissional, instigando a busca de soluções para problemas reais, sendo amplamente utilizado em cursos de medicina, tendo em vista que sua origem se deu na Escola de Medicina da Universidade de McMaster, em Ontário, Canadá, no final dos anos 1960 (Pazinato; Braibante, 2014; Sá; Francisco; Queiroz, 2007; Sá; Queiroz, 2009). Nas décadas seguintes, o método foi introduzido em diversas universidades ao redor do mundo, como, por exemplo, na Universidade de Maastricht na Holanda, Newcastle na Austrália e Harvard nos Estados Unidos da América (EUA). No contexto nacional, na década de 1990, ele foi implementado na Escola de Saúde Pública do Ceará, na Faculdade de Medicina de Marília (FAMEMA) e na Universidade de Londrina (UEL) (Borochovicius; Tortella, 2014). Atualmente, o PBL é adotado por diversas universidades do mundo e nas mais diversas áreas, não apenas na área da educação.

Os CIs e o PBL se diferem, principalmente, em seus objetivos. Em seu modelo original, o PBL possui como foco a aprendizagem do assunto científico enquanto os CIs possuem, aliado a esse objetivo, o intuito de estimular o desenvolvimento de diversas habilidades, como a tomada de decisão por profissionais (Sá; Francisco; Queiroz, 2007). A implementação dos CIs no ensino de ciências, especificamente, se deu na década de 1940 com o professor e químico James Conant, da Universidade de Harvard (EUA). Conant criava histórias que contavam o caminho percorrido por cientistas, partindo de uma abordagem histórica nos conceitos científicos (Francisco, 2022).

Os CIs são narrativas envolventes de situações reais ou simuladas vividas por determinados personagens que se encontram diante de uma problemática ou um dilema, sem apresentar um final (Francisco, 2022; Primo, 2023; Sá; Queiroz, 2009). Dessa forma, os estudantes devem analisar a situação, propondo possíveis soluções com embasamento científico por meio de materiais fornecidos pelo professor ou pesquisados por eles mesmos. Assim, os estudantes devem discutir e tomar decisões acerca do final que irão propor como resolução do caso.

Nessa estratégia, o aluno possui um papel de destaque em seu processo de aprendizagem e o professor possui como papel principal ser um orientador para o surgimento de ideias dos alunos, bem como auxiliá-los a analisar os fatos e problemas, considerando todos os aspectos das suas ações e consequências.

Dessa forma, o uso de CIs se demonstra como uma estratégia didática ativa que, além do ensino do conteúdo científico, proporciona oportunidades de desenvolvimento de habilidades que são essenciais para a atuação profissional futura dos alunos. Ao colocar o aluno como um protagonista em seu processo de aprendizagem, permite-se que ele estimule sua criatividade frente a resolução de problemas, considerando aspectos sociocientíficos, bem como habilidade de pensamento crítico e uma formação multidisciplinar fundamentada. No que tange ao Ensino de Química no Ensino Superior, os objetivos dessa estratégia estão em concordância com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Química, integrantes do Parecer CNE/CES nº 1.303/2001 (Brasil, 2001), proporcionando oportunidades para que os futuros profissionais da área possuam as competências mais complexas exigidas em sua atuação profissional diária.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de pesquisa (processo 137757/2024-7). Ao Instituto de Química (IQAr), ao grupo de pesquisa RIPEQ, ao grupo GEAr, ao grupo Electron e ao Grupo PET Química.

Carta ao professor

Diante da necessidade de inovar no ensino, buscando uma aprendizagem mais significativa e contextualizada, o presente Produto Educacional foi desenvolvido.

A produção sistemática de CIs tem potencial para ser caracterizada como a geração de Produtos Educacionais (PE), uma vez que, de acordo com Rizzatti *et al.* (2020, p. 4),:

[...] considera-se PRODUTO/PROCESSO EDUCACIONAL (PE) na Área de Ensino, o resultado tangível oriundo de um processo gerado a partir de uma atividade de pesquisa, podendo ser realizado de forma individual (discente ou docente *Stricto Sensu*) ou em grupo (caso do *Lato Sensu*, PIBID, Residência Pedagógica, PIBIC e outros).

De acordo com Rizzatti *et al.* (2020, p. 2), “a função de um PE desenvolvido em determinado contexto sócio-histórico é servir de produto interlocutivo à [sic] professores e professoras que se encontram nos mais diferentes contextos do nosso país”. Sendo assim, o PE possui potencial para atuar como um instrumento de inovação no ensino. Para isso, os professores têm a liberdade de reutilizar, revisar, remixar, redistribuir e reter os PE, podendo adaptá-los às necessidades de suas diferentes turmas. Considerando essa definição, o CI proposto categoriza-se como um PE do tipo Material Didático, pois trata-se de um “produto de apoio/suporte com fins didáticos na mediação de processos de ensino e aprendizagem em diferentes contextos educacionais (impressos, audiovisuais e novas mídias)” (Rizzatti *et al.*, 2020, p. 4).

No projeto pedagógico do curso de Bacharelado em Química e em Química Tecnológica do Instituto de Química Câmpus de Araraquara (IQCAr) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), há diversos parágrafos apontando as competências e habilidades que o profissional da área deve possuir após se graduar e que, durante seu curso, devem ser proporcionadas pela instituição de ensino oportunidades para que essas aptidões sejam estimuladas e desenvolvidas. É possível sintetizar algumas dessas habilidades e competências elencadas no documento, como: saber trabalhar em equipe; capacidade e interesse no auto-aperfeiçoamento contínuo; curiosidade e espírito investigativo; visão ética e humanística que permita o exercício pleno da cidadania; e atuação profissional com respeito ao direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos.

Todos esses atributos são essenciais e de extrema importância para que o profissional em química possua capacidade de avaliar, diariamente, de maneira crítica e cidadã, as questões ambientais, sociais, econômicas, políticas e tecnológicas que envolvem a química e suas aplicações na sociedade. Ademais, o profissional deve possuir domínio sobre os

conceitos fundamentais da química e suas propriedades e dos avanços na área para ter a capacidade de disseminar, difundir e utilizar o conhecimento relevante para a comunidade.

Na metodologia transmissiva, o aluno é visto como passivo em seu processo de aprendizagem. No entanto, o projeto pedagógico do curso de Bacharelado em Química e em Química Tecnológica do Instituto de Química Câmpus de Araraquara - UNESP (IQCAr - Unesp) (2023) aponta para o fato de que os currículos propostos para esses cursos possuem como princípio que o professor não é a principal fonte de informações para os alunos, mas sim um sistematizador e facilitador. Dessa forma, fica evidente que o princípio norteador das estratégias ativas já se faz presente, em teoria, no planejamento curricular desses cursos de graduação e entende-se que a utilização de estratégias desses tipo, como o uso de CIs, para o ensino dos métodos eletroanalíticos possui grandes benefícios visto que os princípios pedagógicos dessas estratégias estão em concordância com o previsto no projeto pedagógico.

Desse modo, considerando que há poucas iniciativas nas universidades que se pautem efetivamente na indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, bem como o caráter fortemente transmissivo das aulas de graduação e a ausência de materiais didáticos especializados para o ensino superior com base em abordagens ativas, conduziu-se um trabalho que visa propor ações integradoras entre as três dimensões do tripé universitário e que propiciem a inovação no ensino de graduação.

É importante ressaltar que o presente trabalho é parte de um projeto maior envolvendo uma parceria entre grupos do IQCAr, sendo um grupo de pesquisa de química (Grupo de Eletroanalítica de Araraquara - GEAr), um grupo de pesquisa em ensino de química (Rede de Inovação e Pesquisa no Ensino de Química - RIPEQ) e um grupo de extensão (Programa de Educação Tutorial - PET). Assim, o projeto maior trata-se de uma pesquisa de mestrado que possui como objetivo propor uma interface entre ensino, pesquisa e extensão de maneira indissociável.

Dessa forma, visando contemplar o princípio da indissociabilidade, o CI proposto neste trabalho utilizou como fonte de inspiração e base uma pesquisa científica do GEAr que propõe a transformação de dióxido de carbono (CO_2) em combustíveis, metanol e etanol, concomitantemente ao processo de degradação de poluentes orgânicos por fotoeletrocatalise, bem como TDCs sobre essa mesma pesquisa produzidos no âmbito do Grupo PET Química dessa mesma instituição. Quatro TDCs foram produzidos no contexto desse grupo de extensão e possuem o objetivo de divulgar essa importante pesquisa para tornar o conhecimento científico mais acessível ao público não especializado da sociedade, democratizando o acesso à ciência. Para promover o pilar do ensino de maneira indissociável

aos outros, a proposta deste trabalho foi de elaborar um CI para o ensino de técnicas eletroanalíticas na graduação utilizando os TDCs produzidos pelos membros do PET como fonte de inspiração.

Caro professor, diante dos pontos expostos, o material a seguir foi elaborado visando a inovação no ensino de eletroanalítica no ensino superior por meio da implementação de estratégias didáticas ativas que promovam a participação dos alunos nos seus processos de aprendizagem.

As seções a seguir são dedicadas à apresentação do CI e sua versão digital. A versão digital refere-se a um site contendo o caso de forma interativa, visando maior engajamento dos estudantes e a possibilidade de utilização de recursos de acessibilidade.

O Caso Investigativo

Elaborou-se um CI no formato caso interrompido, sendo assim composto por duas partes, de modo que os alunos solucionem uma parte por vez. Espera-se que, a cada etapa, os estudantes possam aplicar os conhecimentos desenvolvidos na etapa anterior e consolidar sua aprendizagem química e o desenvolvimento de competências e habilidades investigativas.

A primeira parte do CI possui enfoque nos fundamentos das técnicas eletroanalíticas, direcionando o estudo dos alunos para a fotoeletrocatalise e as características do uso dessa técnica. Na parte 1, as personagens principais são apresentadas, juntamente ao dilema que irá ambientar a história.

A segunda parte dá continuidade à história e objetiva o estudo da eficiência do processo, estimulando os alunos a transpor os aprendizados obtidos na primeira parte do caso com os métodos eletroanalíticos estudados na disciplina, bem como a análise e discussão de dados experimentais. Nessa parte, também se objetiva a tomada de decisões dos alunos ao selecionarem uma técnica eletroanalítica para o problema exposto no caso, baseado na pesquisa científica inspiradora. A perspectiva é que os estudantes possam avaliar os diferentes aspectos ao tomar uma decisão enquanto profissionais de química, interpretando e discutindo dados experimentais, exercitando sua criatividade e desenvolvendo uma atuação profissional consciente.

O CI completo, escrito e diagramado foi publicado com **acesso livre no Repositório da UNESP** e pode ser **acessado pelo link:**

<https://hdl.handle.net/11449/295533>

Ou via QR Code:



Site do Caso Investigativo

Visando integrar recursos digitais ao engajamento dos alunos na atividade, elaborou-se um site contendo o caso. No site, o caso é apresentado por meio de recursos interativos, onde os alunos podem clicar em diferentes recursos para conhecer mais sobre as personagens do caso, obter um acesso rápido e interativo às partes do CI, baixar *templates* para proposição da resolução do caso e encontrar materiais úteis que correspondem ao assunto estudado. O site, então, colabora para deixar a aplicação do caso mais otimizada e interativa.

O uso do site também possui o objetivo de tornar a estratégia mais acessível, possuindo o recurso de tradução em libras e leitura em voz alta.

O **site** se encontra habilitado na plataforma WordPress. Para acessar o site é necessário **acessar o link**:

<https://deepskyblue-elk-707620.hostingersite.com/>

Ou acesse via QR Code:



Além disso, o endereço do site também se encontra disponível no **site da RIPEQ**, na aba de “Publicações” > “Recursos Educacionais”.

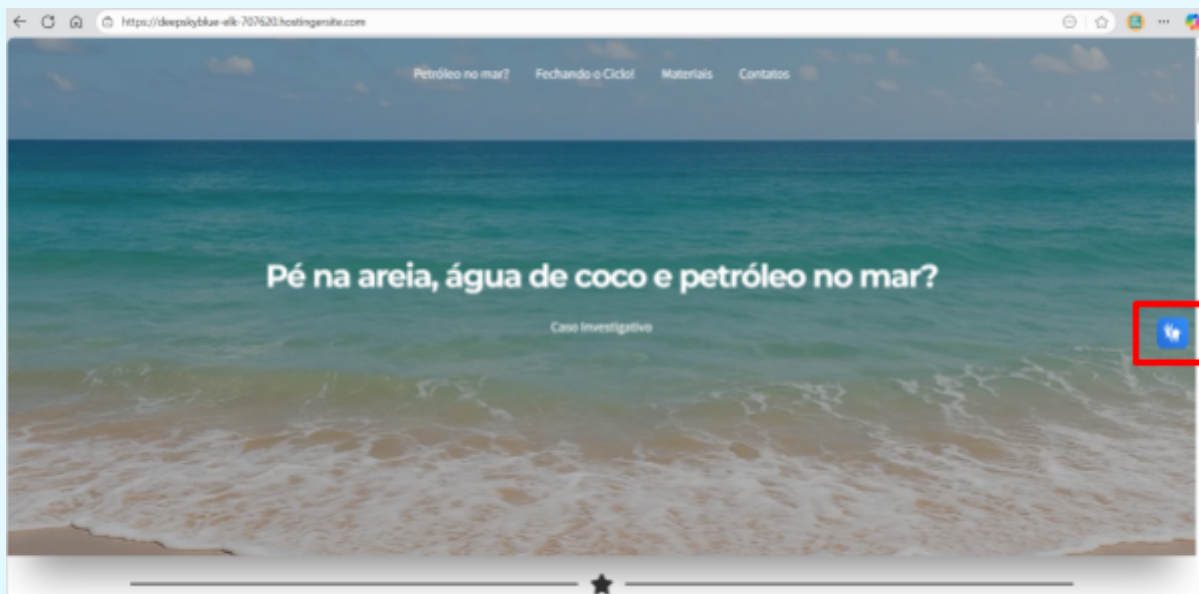
<https://www.iq.unesp.br/#!/pesquisa/laboratorios4377/ripeq/publicacoes/recursos-educacionais/>



Recursos de acessibilidade do site

O site conta com o recurso VLibras localizado no canto central direito da tela.

Figura 1 - Captura de tela da página inicial do site com indicação da ferramenta VLibras.



Fonte: Autoria própria (2025).

Ao clicar no recurso, uma personagem digital apresenta o tutorial, em libras e com legendas em língua portuguesa, de como utilizá-lo.

Figura 2 - Captura de tela da personagem digital apresentando o tutorial de utilização da ferramenta VLibras.

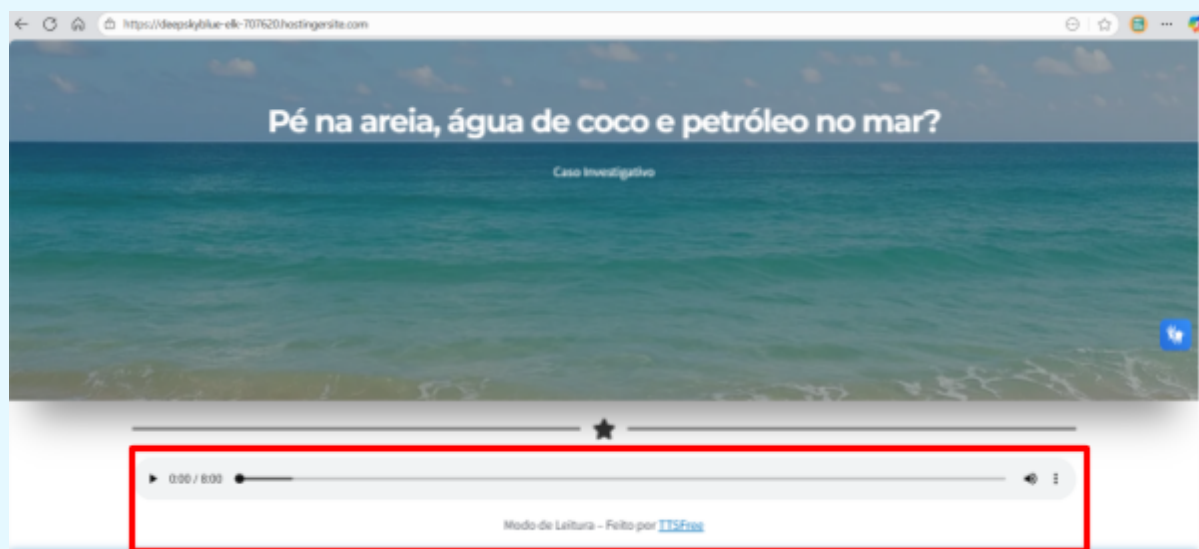


Fonte: Autoria própria (2025).

O cursor adquire um novo formato, apresentando o sinal de “Libras” e a cor azul. Dessa forma, quando se clica em qualquer texto apresentado no site, a personagem digital realiza a tradução em Libras. Essa tradução é dada no formato de vídeo, podendo ter sua velocidade reduzida ou acelerada, bem como repetida quantas vezes for necessário.

O segundo recurso de acessibilidade disponível refere-se à leitura em voz alta da página. Para isso, utilizou-se da plataforma TTSTFree. O recurso aparece como um *player* de áudio, apresentando a opção de alteração no volume do áudio, download no formato mp3 e alteração da velocidade de leitura.

Figura 3 - Captura de tela da página inicial do site com indicação do *player* de áudio para leitura em voz alta da página.



Fonte: Autoria própria (2025).

Os recursos de acessibilidade do site garantem uma participação de qualidade e inclusiva a uma maior gama de alunos.

Resoluções sugeridas para o CI

Como optado pelo método do caso interrompido, esta seção apresenta resoluções sugeridas para cada uma das partes do caso. Vale ressaltar, conforme aponta a literatura especializada, que a resolução de CI não deve seguir um padrão rígido e linear, abarcando diferentes caminhos e formas de argumentação e encadeamento de evidências. O(a) professor(a) deve estar familiarizado(a) com as características do uso de CI em aulas de ciências, a fim de evitar uma avaliação meramente somativa e reducionista da produção dos estudantes.

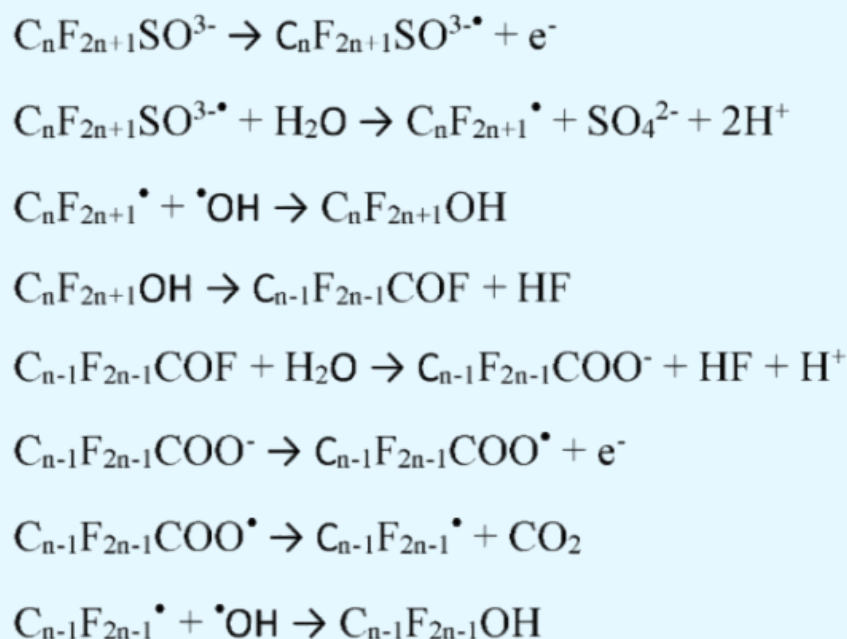
Resoluções da Parte 1 do CI

Na primeira parte do caso, espera-se que os alunos investiguem os fundamentos das técnicas eletroanalíticas capazes de realizar a oxidação dos poluentes orgânicos e a redução de CO₂ em metanol e etanol, detalhando suas características de funcionamento e equipamentos necessários para o emprego dessas técnicas. Espera-se, também, que os estudantes cheguem à conclusão de que a eletrocatalise é uma técnica capaz de realizar esses processos simultaneamente.

Além disso, espera-se que os alunos discutam aspectos positivos e negativos de cada técnica analisada por eles, selecionando a que consideram mais adequada para a resolução da problemática, considerando aspectos ambientais, econômicos e sociais.

A eletrocatalise é uma técnica possível de ser aplicada para a resolução do caso. O princípio da técnica está no uso de catalisadores para acelerar reações de oxirredução. Há estudos sobre o uso dessa técnica para degradação de poluentes orgânicos halogenados (HOPs, do inglês *Halogenated organic pollutants*). Essas substâncias são muito estáveis devido às altas energias de suas ligações C-X (X = F, Cl, Br, I), no entanto, devido às ótimas habilidades oxidativas e de mineralização da oxidação eletrocatalítica, a técnica possui vantagens de aplicação e potencialidade para otimizar os processos oxidativos dos HOPs (Zhuo *et al.*, 2022). A Figura 4 exemplifica o mecanismo de oxidação de um HOP persistente e bioacumulador, os ácidos perfluorossulfônicos, como ácido perfluorooctanossulfônico (PFOS), em carboxilatos perfluorados, que são tipicamente menos tóxicos e apresentam menos riscos significativos à saúde e ao meio ambiente.

Figura 4 - Mecanismo de oxidação de um HOP.



Fonte: Adaptado de Zhuo *et al.* (2022).

Para o emprego dessa técnica, são necessários: uma célula eletroquímica com ânodo e cátodo, uma fonte de corrente controlada, um eletrólito (geralmente uma solução aquosa de ácidos ou bases) e eletrodos (geralmente de platina ou grafite). Como aspectos positivos da técnica é possível ressaltar que ela é relativamente simples de se implementar e proporciona reações eficientes com uma grande variedade de substâncias. Em contrapartida, o custo do material catalisador pode ser elevado.

A fotocatalise é outra técnica possível de resolução para o caso. Seu funcionamento é semelhante ao da eletrocatalise, no entanto utiliza-se da energia provinda de fontes de luz para promover uma aceleração nas reações de oxirredução, dessa forma, seu uso possui um menor gasto de energia elétrica e pode tornar o processo mais alinhado aos princípios da Química Ambiental. No entanto, deve-se avaliar outras variáveis de custo para o emprego da técnica como o valor do eletrodo de TiO_2 . Em seu trabalho, Khaki *et al.* (2017) fazem uma revisão do emprego dessa técnica para degradação de poluentes orgânicos, sendo uma possível indicação de bibliografia para que os alunos investiguem mais sobre a técnica e seu funcionamento.

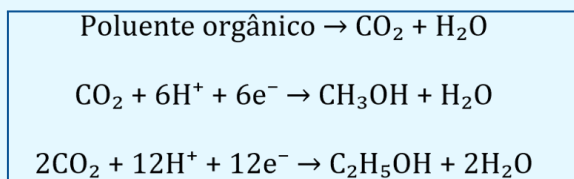
Para o emprego da técnica, são necessários uma fonte de luz UV, fotoanodo (geralmente de TiO_2), cátodo e um sistema de monitoramento de temperatura e pH. As vantagens da técnica estão justamente no uso de uma fonte de energia provinda da luz,

promovendo a sustentabilidade. No entanto, a eficiência da técnica depende da intensidade da luz e da área do fotoanodo, sendo assim, muitas vezes a técnica não possui eficiência adequada.

Dessa forma, a melhor solução para o caso seria a proposta da técnica fotoeletrocatalise, que combina os conceitos de ambas as técnicas descritas acima. A técnica tem exibido maior potencial do que a fotocatalise e o processo de eletrooxidação individualmente (Cao; Wang; Zhao, 2017). Além disso, estudos demonstram que a PEC possui um bom desempenho na degradação de poluentes orgânicos recalcitrantes como fenóis, surfactantes, corantes e pesticidas orgânicos (Zhang, 2012).

Essa técnica é a abordada na pesquisa inspiradora e ela possui potencial para promover ambas as reações de interesse simultaneamente (Brito *et al.*, 2019b). As reações que ocorrem estão representadas na Figura 5:

Figura 5 – Reações de oxidação dos poluentes orgânicos e redução de CO₂ em metanol (CH₃OH) e etanol (C₂H₅OH) que ocorrem no reator híbrido proposto por Brito *et al.* (2019b).



Fonte: Adaptado de Brito *et al.* (2019b).

Nesse caso, os equipamentos necessários são uma fonte de luz UV, fotoanodo (geralmente de TiO₂) e cátodo, sistemas de monitoramento da reação e sistema de controle de corrente e tensão. As vantagens da técnica estão na combinação de uma fonte de energia de luz com uma fonte de energia elétrica, diminuindo a quantidade de energia elétrica necessária para promover as reações e em permitir a redução de CO₂ simultânea a oxidação dos compostos orgânicos. Sua desvantagem pauta-se na necessidade de materiais de alta qualidade, podendo elevar o custo da técnica.

Além disso, espera-se que os estudantes investiguem e proponham como resolução o monitoramento da degradação dos poluentes orgânicos pelo emprego das técnicas de voltametria, especialmente a voltametria cíclica e a voltametria de pulso diferencial (Guzsvány *et al.*, 2008; McCormick, 2023).

Na voltametria cíclica a voltagem aplicada a um eletrodo de trabalho é varrida de forma cíclica enquanto mede-se a corrente. Ela poderia ser utilizada para estudar a dinâmica das reações de oxirredução, identificar os potenciais envolvidos nas reações e fornecer informações sobre intermediários de reação. Enquanto a voltametria de pulso diferencial é uma variação da voltametria que aplica pulsos de correntes enquanto a voltagem é aumentada, aumentando a sensibilidade da técnica. Para o CI proposto, ela poderia ser utilizada para estudar as reações de oxirredução com baixa concentração, detectando e quantificando a degradação dos poluentes e redução do CO_2 .

Por fim, para concluir a primeira parte do caso, espera-se que os alunos discutam os diversos aspectos que contribuem para o custo das técnicas, focando, principalmente, no fato de que realizando as reações de maneira simultânea. O CO_2 gerado na oxidação dos poluentes orgânicos poderia ser reduzido à combustíveis, os quais podem ser aplicados para contribuir na energia utilizada pela própria empresa nesse processo e a água, após tratada, poderia ser reutilizada no processo de extração do petróleo.

Resoluções da Parte 2 do CI

Na segunda parte do caso, espera-se que os estudantes investiguem maneiras de se monitorar a eficiência dos processos propostos na primeira parte do caso, analisem dados experimentais retirados da pesquisa inspiradora e tomem decisões bem fundamentadas, exercitando a criatividade.

As reações químicas envolvidas no processo estão representadas na seção Figura 5 e foram retiradas da pesquisa inspiradora, além disso não se espera que os alunos proponham os mecanismos de reação, apenas reconheçam quais os compostos envolvidos em cada uma, utilizando os conhecimentos de química adquiridos até o presente momento na graduação.

Para a análise da eficiência, espera-se que os alunos façam sugestões como o uso de monitoramento da concentração de compostos orgânicos antes de depois do tratamento por cromatografia gasosa, como proposto na pesquisa inspiradora. Como melhor resposta, espera-se que os alunos façam a transposição do conhecimento adquirido nas aulas expositivas da disciplina e proponham esse monitoramento e cálculo com base em uma técnica eletroanalítica abordada no semestre, a coulometria. Essa técnica realiza a medida da corrente gerada ao longo do tempo de reação, sendo assim, as espécies presentes e suas concentrações afetam o valor de corrente medido. Durante a aplicação do caso, o(a) professor(a) pode selecionar uma espécie de interesse, como o etanol, um valor de corrente,

tempo de reação, concentração e volume da espécie. Com esses dados, os alunos utilizam os fundamentos teóricos da técnica coulometria para calcular a eficiência faradaica do processo. Os alunos utilizam a Primeira Lei de Faraday, que relaciona a massa molar do composto, a corrente, o tempo de reação e o número de elétrons envolvidos nessa reação para determinar a massa da substância eletrolisada. Os alunos podem realizar os cálculos para o valor de massa teórico e com os valores de concentração e volume fornecidos, realizar a comparação da eficiência do processo. As equações a serem utilizadas pelos alunos são:

$$m = \frac{MM \times i \times t}{n \times F}$$

$$c = \frac{n}{V}$$

$$n = \frac{m}{MM}$$

$$e (\%) = \frac{\text{massa real}}{\text{massa calculada}} \times 100$$

Espera-se que os alunos analisem a tabela apresentada na figura 1 da parte 2 do caso para argumentarem que composto orgânico selecionaram para monitorar. A melhor solução seria selecionar o álcool benzílico, como selecionado pelos pesquisadores do GEAR, pois ele se apresenta como o mais recalcitrante, mantendo maior concentração mesmo após a aplicação dos tratamentos. Dessa forma, quando ele apresenta baixa concentração, indicando sua oxidação, os demais compostos orgânicos já foram degradados também.

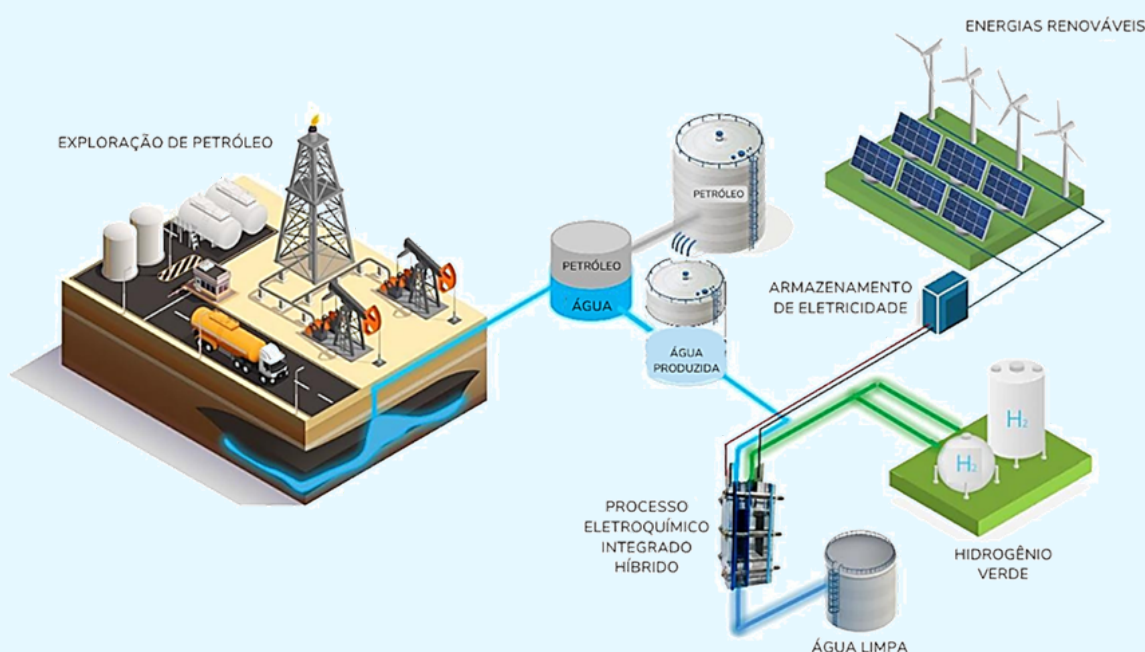
Em relação à indicação de melhor técnica, espera-se que os alunos discutam os aspectos estudados na primeira parte do caso e em suas pesquisas na segunda parte para concluir que a melhor técnica a ser adotada, baseando-se na eficiência, viabilidade econômica e sustentabilidade é a fotoeletrocatalise. O uso dessa técnica permite a oxidação simultânea dos poluentes orgânicos simultaneamente à redução de CO₂ em combustíveis. A combinação da fotocatalise e da eletrocatalise possibilita maximizar a eficiência, aproveitando o subproduto gerado (CO₂) ao incorporá-lo no processo e gerando energia que poderia ser

utilizada na empresa e aplicando a água tratada no processo de extração do petróleo e, assim, proporcionando um ciclo fechado, reduzindo os impactos ambientais do processo.

Os aspectos econômicos e da Química Verde envolvidos tratam justamente da proposição de um ciclo fechado, reduzindo gastos para a empresa e minimizando o desperdício ao incorporar resíduos no processo.

Por fim, espera-se que os alunos completem a ilustração apresentada no caso de forma que demonstre esse ciclo fechado, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Representação da idealização de uma planta de uma indústria petrolífera que utiliza um ciclo fechado de água gerando energia com o tratamento de seus resíduos.



Fonte: Adaptado de Araújo *et al.* (2024).

Em síntese, as interpretações dos alunos devem ser detalhadas em seus processos de tomada de decisões, reunindo os conhecimentos estudados por meio das aulas expositivas prévias à aplicação do CI juntamente aos conhecimentos das aulas experimentais, que vão de encontro aos assuntos abordados nas aulas teóricas. O conhecimento dos alunos será construído de maneira investigativa e ativa por eles, de maneira progressiva e contextualizada.

Conhecimentos gerais passíveis de serem abordados no CI

Diante da contextualização do CI, é possível elencar os conhecimentos gerais passíveis de serem abordados com a aplicação do caso. Destacam-se, entre elas:

- *Contaminação da água no processo de exploração do petróleo*: a água contaminada pelo processo de exploração do petróleo, que contém uma variedade de compostos tóxicos, íons em alta concentração e traços de metais pesados, é um tema central no CI. Essa contaminação ocorre devido ao contato da água injetada nos poços para forçar a saída do petróleo para a superfície. Assim, os alunos compreendem melhor como ocorre essa contaminação e os riscos que ela apresenta ao meio ambiente e à saúde humana.
- *Tecnologias e estratégias de tratamento da água contaminada*: o tratamento da água residual contaminada nesse processo é um desafio complexo, que demanda o contínuo desenvolvimento e aprimoramento de técnicas e tecnologias. Nesse sentido, com a aplicação do CI, os alunos poderão pesquisar mais e aprender sobre as estratégias mais utilizadas atualmente para realizar esse tratamento, além de aprender mais sobre a inovação proposta pela pesquisa inspiradora.

A pesquisa inspiradora propõe, nesse contexto, um reator híbrido que possui potencialidade para o tratamento da água contaminada. O reator é uma célula eletroquímica de dois compartimentos: em um ocorre a oxidação dos poluentes orgânicos em CO_2 e água (H_2O); no outro ocorre a redução do CO_2 em metanol e etanol. Para a aplicação no tratamento de água residual o uso do reator proposto torna-se viável pois demonstrou uma diminuição de 90% da concentração de álcool benzílico, o poluente mais persistente na amostra de água. Além disso, ainda que em pouca quantidade devido ao tempo de reação, houve a redução do CO_2 .

Conhecimentos químicos específicos passíveis de serem abordados no CI

Os conhecimentos químicos específicos pensados para serem abordados com a aplicação do CI são:

- *Amperometria*: a amperometria é uma técnica eletroquímica estudada na disciplina e é utilizada para oxidar ou reduzir uma espécie em solução à medida que a corrente (ou o potencial) é aplicada ao longo do tempo. Nesse caso, é a técnica empregada para realizar as conversões de compostos, pois o potencial é fixo ao longo do tempo. Esse potencial selecionado é o ideal para converter os compostos orgânicos em CO_2 e/ou converter o CO_2 em produtos (metanol e etanol).
- *Coulometria*: é a técnica na qual o fluxo de corrente ao longo do tempo, gerado na amperometria quando utilizamos três eletrodos, define a carga que foi gerada no sistema e pode relacionar a eficiência Faradaica na geração dos produtos.
- *Eletrocatalise*: a eletrocatalise é uma técnica que envolve o desenvolvimento dos eletrodos que aceleram as reações de oxirredução. Nesse contexto, ela é fundamental pois para a reação acontecer, utilizamos a Amperometria como técnica eletroanalítica para dar a energia necessária para o processo de eletrocatalise acontecer.
- *Fotocatalise*: essa técnica utiliza a energia provinda da luz para acelerar reações químicas, sendo também a base para o entendimento das reações que ocorrem no reator híbrido proposto na pesquisa inspiradora. Além disso, essas técnicas podem ser propostas como resolução do caso. Elas são abordagens importantes no tratamento de poluentes, sendo aplicadas para a degradação de substâncias contaminantes na água.
- *Fotoeletrocatalise*: a fotoeletrocatalise é a técnica proposta na pesquisa inspiradora, que combina eletrocatalise com o uso de luz para promover a oxidação dos compostos orgânicos e a redução de CO_2 . Atualmente é uma das técnicas mais exploradas para o tratamento da água residual e possibilita aos alunos um conhecimento mais aprofundado da eletroanalítica além de explorar sua aplicação em pesquisas recentes, proporcionando uma aprendizagem mais contextualizada aos alunos. Ela relaciona as reações de oxirredução com suas aplicações práticas em tecnologias para o tratamento de água e geração de energia.
- *Voltametria (cíclica e de pulso diferencial)*: a voltametria é uma técnica eletroquímica que permite o estudo das reações de oxirredução em função do potencial aplicado ao sistema. Elas podem ser utilizadas para caracterizar os processos de oxirredução que ocorrem para o tratamento da água (a oxidação dos poluentes orgânicos) e para a geração de energia (a redução de CO_2 em metanol e etanol). Essa técnica pode ser

aplicada para monitorar a degradação dos compostos orgânicos poluentes durante o tratamento da água contaminada, atuando como um sensor. Sendo assim, também são técnicas que podem ser propostas na resolução do caso, além de serem previstas no plano de ensino da disciplina.

Esses conhecimentos específicos são essenciais para a compreensão dos alunos acerca dos mecanismos envolvidos na problemática apresentada no CI e suas propostas de resolução.

Proposta de aplicação do CI

Sugere-se a aplicação para uma etapa da disciplina em que os alunos já tenham o mínimo de conhecimento sobre as técnicas eletroanalíticas, além de práticas experimentais que os aproximam dessas técnicas. Dessa forma, entende-se que os estudantes terão fundamento e preparo suficiente para o estudo das técnicas eletroanalíticas mais avançadas e contextualizado a uma situação simulada passível de ocorrer em seus futuros profissionais.

Serão necessárias 2 aulas para o desenvolvimento do CI, cada uma com 2 horas. Assim, a proposta para a aplicação da primeira parte do caso está ilustrada na Figura 7.

Figura 7 - Etapas propostas para aplicação do CI e o tempo sugerido para cada etapa.



Fonte: Marineli (2024).

Inicialmente, sugere-se para os alunos a formação de grupos de 4 a 6 pessoas, podendo ser os mesmos grupos das aulas práticas a depender da quantidade de alunos matriculados na disciplina. Com os alunos organizados em pequenos grupos, espalhados pela sala em pequenas rodas, apresenta-se o caso. O(a) professor(a) ou instrutor(a) inicia explicando o funcionamento da aplicação do CI, esclarecendo possíveis dúvidas sobre o processo. Em seguida, buscando um maior engajamento e atenção dos alunos, a parte 1 do texto pode ser lida em voz alta, selecionando alunos específicos para interpretarem as personagens da história.

Após a leitura, os grupos iniciam uma breve discussão sobre a história, identificando a problemática exposta na narrativa e as informações que julgarem pertinentes no caso. Então os grupos devem discutir propostas possíveis de soluções iniciais para a parte 1, realizando um levantamento de suas hipóteses iniciais.

Em seguida, na próxima etapa, os grupos devem realizar uma pesquisa bibliográfica. A proposta é que, caso seja da preferência do(a) professor(a), ele(a) já disponibilize alguma bibliografia para guiar essa pesquisa, mas incentiva-se que cada membro do grupo realize uma pesquisa individual por informações pertinentes para a resolução do caso em artigos científicos, seja em base de dados ou portais de periódicos. Após reunirem as informações relevantes, os alunos do grupo realizam uma socialização dos conhecimentos, de forma que os alunos agreguem diferentes informações e se complementem para que possam propor, juntos, a resolução da parte 1.

Sugere-se que essa resolução seja feita envolvendo todos os membros do grupo, redigindo um texto que responda às questões norteadoras com fundamentação teórica apropriada. Em seguida, sob orientação do(a) professor(a), os alunos se reúnem em um grande círculo para apresentar as resoluções propostas e discutir sobre elas. A perspectiva dessa discussão é que seja um momento para que os grupos possam incorporar informações ou retificar suas propostas a partir da resolução dos outros grupos e intervenções, quando necessárias, do(a) professor(a). Essa etapa é essencial para que os alunos tenham os conhecimentos, já corrigidos, consolidados.

Para a aplicação da segunda etapa sugere-se uma estrutura similar à anterior, modificando apenas as duas primeiras etapas. No momento inicial, o(a) professor(a) pode orientar que os alunos se organizem em um grande círculo para que possam fazer uma recapitulação da primeira parte e dos conhecimentos consolidados previamente. A leitura e apresentação da segunda parte ocorre enquanto os alunos ainda estão nessa formação e só então separam-se nos mesmos grupos que na etapa anterior para realizarem o levantamento de hipóteses iniciais, seguido do levantamento bibliográfico e socialização do conhecimento entre todos os alunos da classe.

É importante ressaltar que na etapa de discussão geral da segunda etapa sugere-se que os alunos façam um momento reflexivo sobre o CI, suas propostas e a dos demais colegas, bem como os aspectos considerados por cada grupo em seus processos de tomada de decisões. Indica-se que o(a) professor(a) faça uma mediação das discussões, ressaltando os diferentes caminhos para a resolução, validando as respostas dos alunos e fazendo as correções necessárias nos conceitos.

O site do CI já conta com um arquivo em PDF chamado de “template para resolução do CI”, elaborado para cada uma das partes do caso. Por meio desse template os alunos conseguem realizar cada uma dessas etapas, visto que ele já contém um espaço destinado às pesquisas bibliográficas e espaço para as propostas de soluções.

Habilidades e competências passíveis de serem desenvolvidas com a aplicação do CI

Como exposto anteriormente, os CIs possuem potencial para desenvolver diversas competências e habilidades para além do ensino do conhecimento científico em si. Ressaltam-se algumas dessas competências, como habilidades cognitivas e capacidade de tomada de decisões bem fundamentadas diante de questões científicas e sociocientíficas (Sá; Queiroz, 2005, 2010) e da busca pela construção do conhecimento de forma crítica, reflexiva e autônoma (Selbach *et al.*, 2021).

Tendo em vista todas essas características apresentadas anteriormente e na aplicação do CI, é possível elencar uma série de habilidades e atitudes que são passíveis de serem desenvolvidas a partir de sua aplicação. Dentre elas, pode-se citar:

- *Comunicação oral e escrita*: a aplicação do CI prevê que os alunos realizem discussões em grupo acerca de suas pesquisas e ideias. Assim, eles irão compor uma resposta escrita para fornecer ao(a) professor(a) e colegas. Com isso os alunos são incentivados a expressar suas ideias de forma a se fazerem entendido, tanto de maneira oral quanto escrita.
- *Trabalho em equipe*: na aplicação do caso, também se prevê a dinâmica de resolução da problemática exposta na narrativa por meio de grupos de alunos. Simulando um ambiente profissional, a colaboração de cada um, divisão de tarefas e a forma como irão se organizar proporciona aos alunos o desenvolvimento da habilidade de trabalhar em equipe de maneira eficiente e respeitosa.
- *Habilidade de tomada de decisão e argumentação*: por meio dos momentos de socialização previstos na aplicação do caso, os alunos são estimulados a realizar uma argumentação sólida de suas pesquisas, hipóteses e escolhas. Além disso, o caso exige a tomada de decisão, dessa forma, os alunos podem desenvolver a habilidade de tomar decisões bem fundamentadas, considerando os impactos ambientais e socioeconômicos em sua futura atuação profissional.
- *Pesquisas em periódicos científicos e bases de dados*: a pesquisa acadêmica é um elemento central na aplicação proposta, incentivando os alunos a buscarem informações e conhecimentos em fontes científicas confiáveis. Entende-se que essa habilidade é essencial para a formação acadêmica e profissional dos estudantes, tanto para os que visam uma carreira acadêmica e que terão contato diário com a pesquisa em bases de dados e periódicos, quanto para os que visam uma carreira industrial, que deverão buscar aperfeiçoamento constante e atualização na área.

- *Resolução de problemas*: para propor resoluções ao caso, os alunos deverão passar por diversas etapas que desenvolvem a capacidade de solucionar problemas de maneira consciente. Eles deverão fazer a identificação e definição do problema, o levantamento de hipóteses iniciais, a pesquisa de informações confiáveis e relevantes, bem como o entendimento dos resultados da pesquisa, discussão interna entre os grupos e, por fim, uma discussão geral com os demais alunos e professor(a). Entende-se que todas essas etapas estimulam e contribuem para o desenvolvimento dessa habilidade.
- *Iniciativas no aprofundamento constante*: com a exposição de uma problemática atual e das tecnologias recentes exploradas para resolvê-la, o conhecimento dos alunos fica mais contextualizado. Dessa forma, por meio da estratégia ativa de colocar os estudantes como protagonistas no seu processo de aprendizagem, estimula-se que os alunos desenvolvam iniciativas para acompanhar as rápidas mudanças tecnológicas da área.

Dessa forma, é possível observar que a aplicação do CI se aprofunda para além do ensino do conteúdo científico e estimula o desenvolvimento de competências essenciais para uma atuação profissional mais ética e cidadã. A estratégia didática do uso de CIs se demonstra em concordância com as habilidades previstas no projeto pedagógico do curso de Bacharelado em Química e em Química Tecnológica do IQCAR - Unesp, incluindo capacidade e interesse no autoaperfeiçoamento contínuo, curiosidade e espírito investigativo, e visão ética e humanística.

Referências

- ARAÚJO, D. M. de *et al.* Produced water electrolysis with simultaneous green H₂ generation: From wastewater to the future of the energetic industry. **Fuel**, v. 373, p. 132369, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236124015175?via%3Dihub>. Acesso em: 17 set. 2025.
- BOROCHOVICIUS, E.; TORTELLA, J. C. B. Aprendizagem baseada em problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. **Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação**, v. 22, n. 83, p. 263-293, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-40362014000200002>. Acesso em: 17 set. 2025.
- BRASIL. Parecer CNE/CES 1.303 de 4 de dezembro de 2001. Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, 7 dez. 2001, p. 25. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1303.pdf>. Acesso em: 17 set. 2025.
- BRITO, J. F. de *et al.* Turning carbon dioxide into fuel concomitantly to the photoanode-driven process of organic pollutant degradation by photoelectrocatalysis. **Electrochimica acta**, v. 306, p. 277-284, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.03.134>. Acesso em: 17 set. 2025.
- CAO, D.; WANG, Y.; ZHAO, X. Combination of photocatalytic and electrochemical degradation of organic pollutants from water. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 6, p. 78-84, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.05.007>. Acesso em: 17 set. 2025.
- FRANCISCO, W. Uma releitura das características para um bom? Caso: tecendo aproximações com as crônicas narrativas. **Revista debates em ensino de química**, 8(1), 183-201, 2022. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/5027/482484636>. Acesso em: 17 set. 2025.
- GUZSVÁNY, V. *et al.* Monitoring of photocatalytic degradation of selected neonicotinoid insecticides by cathodic voltammetry with a bismuth film electrode. **Electroanalysis: An International Journal Devoted to Fundamental and Practical Aspects of Electroanalysis**, v. 20, n. 3, p. 291-300, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/elan.200704057>. Acesso em: 17 set. 2025.
- KHAKI, M. R. D. *et al.* Application of doped photocatalysts for organic pollutant degradation-A review. *Journal of Environmental Management*, v. 198, p. 78-94, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389556716300740>. Acesso em: 17 set. 2025.
- MARINELI, G. C. **Proposta de um caso investigativo para ensino inovador de eletroanalítica no ensino superior de química**. 2024. Monografia (Graduação em Bacharelado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/259782>. Acesso em: 17 set. 2025.
- MCCORMICK, W. **The application of voltammetric techniques for the detection and monitoring of the photocatalytic degradation of organic pollutants in water**. 2023. Tese (Doutorado em Filosofia) - Queen's University, Belfast, 2023. Disponível em: https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/portalfiles/portal/471056734/PhD_thesis_Wesley_McCormick.pdf. Acesso em: 17 set. 2025.

PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F. O estudo de caso como estratégia metodológica para o ensino de Química no nível médio. **Ciências e ideias**, v. 5, n. 2, p. 1-18, 2014. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/reci/article/view/317>. Acesso em: 17 set. 2025.

PRIMO, C. M. **Como tornar indissociáveis ensino, pesquisa e extensão na Química? Um estudo sobre implementação de um design inovador sobre MOFs luminescentes**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/250865>. Acesso em: 17 set. 2025.

RIZZATTI, I. M. et al. Os produtos e processos educacionais dos programas de pós-graduação profissionais: proposições de um grupo de colaboradores. **ACTIO: docência em ciências**, v. 5, n. 2, p. 1-17, 2020. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/actio/article/view/12657/7658>. Acesso em: 17 set. 2025.

SÁ, L. P.; FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. Estudo de casos em Química. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 731-739, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300039>. Acesso em: 17 set. 2025.

SÁ, L. P.; QUEIROZ, S. L. **Estudo de Caso no Ensino de Química**. Campinas, SP: Átomo, 2009. 95 p.

SELBACH, Á. L. et al. O método de Estudos de Caso na promoção da argumentação no Ensino Superior de Química: uma revisão bibliográfica. **Química Nova na Escola**, v. 43, n. 1, 2021. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc43_1/QNESC_43-1_revista_baixa.pdf#page=38. Acesso em: 17 set. 2025.

ZHANG, Y. et al. Photoelectrocatalytic degradation of recalcitrant organic pollutants using TiO₂ film electrodes: an overview. **Chemosphere**, v. 88, n. 2, p. 145-154, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.020>. Acesso em: 17 set. 2025.

ZHUO, Q. et al. Electrocatalytic oxidation processes for treatment of halogenated organic pollutants in aqueous solution: a critical review. **ACS ES&T Engineering**, v. 2, n. 10, p. 1756-1775, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsestengg.1c00465>. Acesso em: 17 set. 2025.