

A abordagem dos biocombustíveis e da captura de CO₂ no ensino de química

Beatriz de M. Massafferri Acha David¹, Mariana F. Jacques de Souza², Jussara Lopes Miranda^{3*}

*^{1, 2, 3}Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – Bloco A.
jlmirandaufjrj@acd.ufrj.br*

Palavras-Chave: Biocombustíveis, Captura de CO₂, Educação Ambiental

Introdução e objetivos

A mudança climática representa um dos desafios mais urgentes enfrentados pela humanidade, demandando ações concretas para mitigar seus impactos socioambientais. Os gases de efeito estufa (GEE), como metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e dióxido de carbono (CO₂), possuem a capacidade de reter calor na atmosfera por meio de seus movimentos vibracionais, intensificando o efeito estufa natural e, assim, elevando a temperatura global (UNEP, 2024). O aumento da concentração desses gases, especialmente do CO₂, tem desestabilizado o equilíbrio climático, desencadeando eventos extremos, como acidificação dos oceanos e perda de biodiversidade.

Conforme o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as atividades humanas, desde a Revolução Industrial, têm sido a principal causa desse aumento exacerbado dos GEE, sendo a queima de combustíveis fósseis a maior fonte emissora (Boehm e Schumer, 2023). Diante desse cenário, torna-se essencial o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de mitigação que possam combater as emissões de GEE e suas consequências ambientais.

Uma das estratégias mais promissoras é a ampliação e produção de biocombustíveis, que oferecem uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis, com potencial para reduzir significativamente as emissões de CO₂. O avanço dessas tecnologias é crucial para reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis e diminuir a pegada de carbono. Adicionalmente, o desenvolvimento de materiais específicos para a captura de CO₂, como zeólitas, que possuem propriedades de adsorção altamente seletiva, e estruturas Metal-Organic Frameworks (MOFs), se mostra promissor. Estas estruturas porosas apresentam elevada capacidade de adsorção de CO₂, podendo ser otimizadas para aprimorar seu desempenho.

Outro avanço relevante é o uso de aminas alcooladas em processos industriais para captura de CO₂, uma tecnologia madura que permite a remoção e potencial armazenamento ou reutilização do gás. A Agência Internacional de Energia (IEA) destaca o crescimento global na demanda por biocombustíveis, liderado por países como Brasil e Índia (Machado, 2023). No Brasil, a produção de biodiesel é mandatória pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com o percentual de

mistura no diesel atingindo 14% em 2024. Estudos apontam que a produção de biodiesel no país traz benefícios socioeconômicos, incluindo geração de empregos e redução da pobreza (Cavalcante Filho et al., 2021). Além disso, Dziejarski et al. (2023) enfatiza que o uso de aminas alcooladas para captura de CO₂ em plantas industriais é uma solução eficaz e economicamente viável, com as aminas podendo ser reutilizadas após recuperação.

Apesar desse cenário alarmante, o Governo Brasileiro continua a subsidiar combustíveis fósseis e a investir significativamente em novos projetos de petróleo e gás (Angelo, 2024). Embora o Brasil possua uma das maiores biodiversidades do mundo, com um potencial substancial para liderar a transição energética, o país ainda está atrasado nesse processo, incentivando a dependência de derivados petroquímicos.

O mesmo atraso é observado na implementação das tecnologias de captura de CO₂ no contexto nacional. Embora pesquisas em escala laboratorial tenham avançado, ainda não há previsões concretas para sua aplicação em larga escala na indústria. A transição dessas tecnologias para o ambiente industrial é crucial, pois é nesse contexto que elas podem realmente impactar a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs).

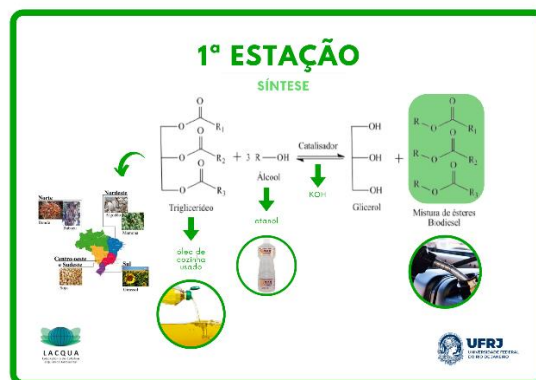
A implementação bem-sucedida de tecnologias de captura de CO₂ em plantas industriais poderia revolucionar a estratégia nacional de controle de emissões e mitigação das mudanças climáticas. No entanto, a ausência de uma aplicação industrial em larga escala limita o potencial desses avanços. Assim, é fundamental acelerar a transição dessas tecnologias da fase experimental para a industrial, superando os desafios técnicos e econômicos para garantir sua relevância na diminuição das emissões de GEEs.

Metodologia

A metodologia científica empregada neste estudo baseia-se em duas abordagens principais: a transição energética mediada por biocombustíveis e a captura de CO₂. Essas abordagens enquadram-se na categoria de pesquisa-ação, caracterizada pela busca de soluções para problemas práticos por meio da colaboração ativa entre os envolvidos na pesquisa. Conforme Baldissera (2001), as etapas da pesquisa-ação incluem a identificação do problema, o planejamento e implementação de ações, a coleta e análise de dados, ajustes com base nos resultados obtidos e a realização de um ciclo avaliativo, integrando, assim, a pesquisa com a ação prática.

Na fase de transição energética, foram utilizadas estações de biodiesel, onde cada etapa da síntese do biodiesel foi discutida no contexto do Novo Ensino Médio. A primeira fase (Figura 1) corresponde ao processo de síntese, em que foram analisadas as funções orgânicas presentes tanto nos reagentes quanto nos produtos. Além disso, nesta primeira estação, abordaram-se as matérias-primas mais comumente utilizadas em cada região do Brasil, a localização da função orgânica álcool e a identificação dos tipos de veículos que utilizam diesel e biodiesel como combustíveis.

Figura 1. Primeira Estação do Biodiesel: Síntese



A segunda estação (Figura 2) do processo de produção de biodiesel corresponde às etapas de separação, neutralização e lavagem do produto sintetizado. Nessa fase, foram trabalhados os

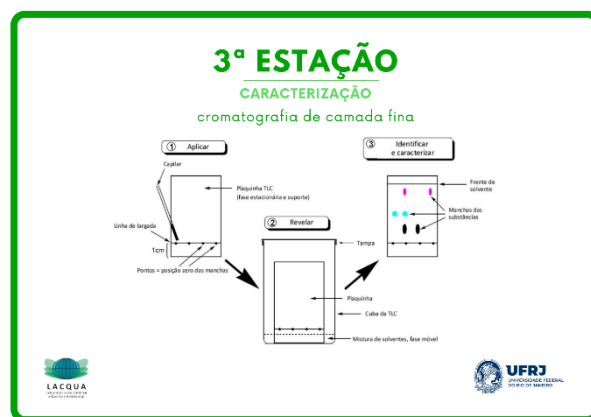
conceitos de separação de misturas, acidez e basicidade, com correlação à escala de pH. Em seguida, discutiu-se a aplicação do subproduto gerado nessa reação, a glicerina, destacando suas diversas utilizações no cotidiano. Durante essa etapa, os alunos puderam manusear todos os equipamentos e vidrarias do laboratório, além de realizar a aferição do pH do biodiesel sintetizado, proporcionando uma experiência prática e direta com os processos laboratoriais envolvidos.

Figura 2. Segunda Estação do Biodiesel: Separação, Neutralização e Lavagem



A terceira estação (Figura 3) corresponde à etapa de caracterização do biodiesel produzido. Nessa fase, foi abordado o conceito de miscibilidade, explicando como o produto pode ser caracterizado com base na fase móvel utilizada no processo de Cromatografia de Camada Fina (CCF). Considerando que a CCF é uma técnica sensível e de alto custo, recorreu-se a uma analogia com materiais mais acessíveis: canetinhas hidrocor, caneta esferográfica e álcool. Nessa analogia, demonstrou-se como o álcool é capaz de arrastar os pigmentos presentes no papel de formas distintas. Assim, explicou-se que, se o produto obtido na síntese atinge o mesmo "patamar" do padrão estabelecido, é possível concluir que o biodiesel produzido está dentro das especificações desejadas.

Figura 3. Terceira Estação do Biodiesel: Caracterização



O segundo trabalho tem como foco a simulação didática do processo de captura de dióxido de carbono (CO₂), amplamente utilizado em plantas industriais. O objetivo é reproduzir, em um ambiente educacional, o sistema de captura de gases de efeito estufa (GEE) utilizando aminas, especificamente a monoetilamina (MEA). Para facilitar a compreensão do processo pelos alunos, será utilizado um kit experimental desenvolvido para fins pedagógicos, conforme descrito por Bouhid (2010). Esse kit foi projetado para simular a tecnologia industrial de captura de CO₂ por meio de ensaios que reproduzem o funcionamento de uma planta real.

A montagem do kit experimental foi cuidadosamente planejada para representar o processo de captura de CO₂ de forma simplificada e eficaz. Em vez de utilizar equipamentos industriais complexos, o kit emprega vidrarias e utensílios laboratoriais comuns. A coluna de absorção é montada com um frasco de Erlenmeyer e uma mangueira de borracha. O CO₂ é borbulhado por uma solução aquosa de monoetilamina a 10%, que atua como o agente capturador, absorvendo o gás até o ponto de saturação.

Quando a solução de monoetilamina se satura com CO₂, o processo de captura é interrompido, iniciando-se a etapa de dessorção. Nessa fase, o CO₂ solubilizado é liberado da solução, permitindo que o ciclo de captura e dessorção seja acompanhado e compreendido pelos alunos. As

Figuras 4 e 5 ilustram de maneira detalhada os componentes e o funcionamento do sistema de captura de CO₂, fornecendo uma visualização clara das etapas do processo.

Este experimento possibilita aos alunos uma compreensão prática e teórica do processo de captura de gases, facilitando o entendimento dos conceitos envolvidos nessa importante tecnologia industrial.

Figura 4. Kit experimental desenvolvido para captura de CO₂ com solução aquosa de MEA ou DEA

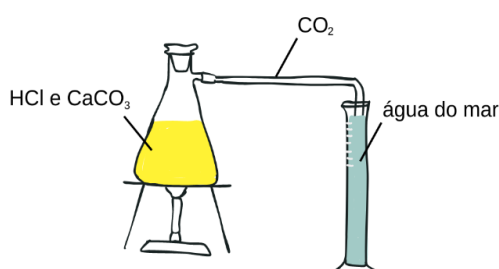
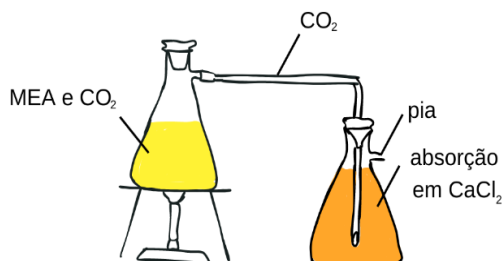


Figura 5. Kit experimental desenvolvido para dessorção de CO₂ com solução aquosa de CaCl₂



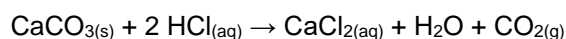
Embora de forma simplificada, os kits possibilitam a realização das etapas de absorção e dessorção. Os conhecimentos de química ambiental associados a cada fase do processo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Conhecimentos abordados com os kits de captura de CO₂

Processos	Conhecimentos Abordados
Alimentação de corrente gasosa	Produção de CO ₂ a partir da reação entre carbonato de cálcio e ácido clorídrico

Captura de CO ₂ em coluna de absorção	<ul style="list-style-type: none"> • Processo de Absorção com reação todinho; • Características e limitações das aminas alcooladas como solventes; • Tecnologia potencial para captura de carbono em processos de cunho ambiental.
Dessorção de CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Processo de dessorção do CO₂ através do aquecimento da solução; • Reciclo de MEA após sua reativação; • Degradação gradual da MEA após alguns ciclos; • Reação química do cloreto de cálcio com o gás carbônico dessorvido • Degradação gradual da MEA após alguns ciclos; • Reação química do cloreto de cálcio com o gás carbônico dessorvido

Para simular a alimentação da corrente gasosa rica em CO₂ no sistema experimental, o gás será gerado por meio de uma reação química controlada entre carbonato de cálcio e ácido clorídrico. Essa reação é comumente empregada para a produção eficiente e segura de dióxido de carbono (CO₂) no ambiente laboratorial. A equação química que descreve o processo é a seguinte:



A simplicidade metodológica adotada é crucial para a transposição de um processo industrial complexo para um formato didático, acessível e compreensível. Ao optar por essa abordagem simplificada, busca-se não apenas reproduzir o processo de captura de CO₂ em laboratório, mas também facilitar a conexão entre a prática experimental e os conceitos teóricos envolvidos.

Resultados e Discussão

Com base no exposto e reconhecendo a importância da avaliação dos resultados para determinar a viabilidade do projeto, dois questionários foram elaborados para a turma: um

aplicado antes da implementação do projeto de estações de biodiesel e outro ao término dessa etapa.

Ao comparar os dados obtidos antes e depois da prática, os resultados foram organizados na Tabela 2. Apenas algumas perguntas foram selecionadas e inseridas na tabela, com o objetivo de ilustrar a metodologia adotada no desenvolvimento do projeto.

Tabela 2. Comparativo antes e depois da experimentação

Pergunta	Resposta (antes)	Resposta (depois)
O biodiesel é um biocombustível?	93%	100%
No Brasil, utilizam-se biocombustíveis?	48%	100%
Qual tipo de ligação química presente no biodiesel?	5%	22%
Qual o tipo de ligação química presente no catalisador da reação?	13%	67%
Qual a polaridade da maioria das ligações presentes na estrutura do biodiesel?	14%	67%
Qual a função orgânica presente no biodiesel?	8%	100%

*Os percentuais indicados na tabela correspondem ao percentual obtido na resposta correta.

Por meio do formulário final, os alunos foram convidados a identificar e descrever a parte favorita de todo o processo. A resposta foi quase unânime: 88% dos participantes relataram que a execução da prática foi a etapa mais interessante. Nessa fase, os alunos tiveram autonomia para manusear vidrarias e reagentes, conforme ilustrado nas Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5. Aluna aferindo o pH do óleo produzido após lavagem



Figura 6. Aluna vertendo o óleo de fritura usado para a proveta



Figura 7. Aluna realizando a lavagem do biodiesel produzido



Além disso, a mesma porcentagem de alunos, 88%, afirmou enfaticamente ter se sentido parte de "algo" importante e significativo. Essa sensação de pertencimento foi destacada em diversos relatos,

alguns dos quais estão apresentados na Tabela 3. Esses depoimentos fornecem uma visão mais detalhada e ilustrativa das percepções dos alunos quanto à relevância e ao impacto do projeto em suas experiências educacionais.

Tabela 3. Relatos pessoais dos alunos sobre a participação do projeto

"Muito legal, me senti uma química por um dia."
"Gostei muito e acho que foi muito importante para o nosso projeto."
"Uma experiência nova e bem legal."
"Foi muito legal, vi na prática várias coisas que vimos em aula!"

*Os relatos foram transcritos para a norma culta da Língua Portuguesa.

Para finalizar a apresentação dos resultados, todos os alunos tiveram a oportunidade de demonstrar, por meio de diferentes abordagens e métodos, a relevância dos biocombustíveis como uma alternativa viável para a transição energética. A importância dos biocombustíveis, destacada sob várias perspectivas, está ilustrada de maneira detalhada na Tabela 4.

Tabela 4. Opinião dos alunos acerca dos biocombustíveis serem uma opção para a transição energética

"Eu acho que o uso de biocombustíveis é uma boa opção para a transição energética, obtendo assim, uma energia mais limpa."
"Extremamente necessário, tanto para a diminuição de poluentes, quanto para a diminuição de matéria-prima a ser desperdiçada, como o óleo de cozinha"
"Acredito que seja uma forma para diminuir os impactos no meio ambiente. Mesmo não sendo algo grandioso, contribui para a mudança."

*Os relatos foram transcritos para a norma culta da Língua Portuguesa.

O projeto de captura de CO₂ tem como objetivo explorar e otimizar os processos de captura utilizando kits com soluções de aminas alcooladas. Essa abordagem proporciona aos alunos a oportunidade de investigar o desempenho de diferentes materiais de captura, avaliar métodos mais eficientes e analisar os impactos ambientais e as limitações associadas a cada técnica.

Além de ensinar os fundamentos da captura de CO₂, o projeto visa fomentar discussões críticas sobre a intervenção humana no meio ambiente. Espera-se que os alunos não apenas reproduzam os processos, mas também reflitam criticamente sobre eles. A metodologia simplificada adotada garante uma compreensão clara dos princípios fundamentais sem a necessidade de equipamentos industriais complexos. Com o uso de um kit experimental básico, composto por vidrarias comuns e reagentes simples, os alunos podem observar e compreender diretamente as etapas do processo.

Essa abordagem prática e direta facilita a assimilação dos conceitos teóricos, promovendo uma aprendizagem mais eficaz e significativa ao integrar teoria e prática. A simplicidade do método educacional não apenas torna o aprendizado mais acessível, mas também auxilia os alunos a visualizarem a aplicação dos princípios científicos em contextos reais.

Além disso, a metodologia escolhida promove uma atividade educacional que combina aspectos didáticos e práticos, permitindo uma compreensão mais aprofundada do impacto e da relevância das tecnologias de captura de CO₂. Ao preparar os alunos para enfrentar desafios ambientais reais, o projeto incentiva uma análise crítica dos processos e sua melhoria contínua. Dessa forma, busca-se capacitar os alunos não apenas a aplicar conhecimentos técnicos, mas também a refletir sobre a sustentabilidade e as implicações ambientais de suas ações e soluções.

Considerações finais ou Conclusões

Finalmente, no contexto deste trabalho, é fundamental ressaltar a significativa importância dos projetos de extensão que promovem e discutem a educação ambiental dentro do ambiente formal de ensino. Esses projetos desempenham um papel crucial na conscientização e formação dos alunos

sobre questões ambientais. Essa relevância é amplamente reconhecida e confirmada pelos estudos de Loureiro e Torres (2016), que sublinham como essas iniciativas contribuem para a integração de práticas sustentáveis e a ampliação da compreensão ambiental no currículo educacional:

“Dessa forma, uma contribuição efetiva da educação escolar voltada à formação de sujeitos críticos e transformadores, tendo como horizonte a construção de conhecimentos e práticas que lhes propiciem uma intervenção crítica da realidade, requer a consideração da não neutralidade dos sujeitos escolares no processo de ensino e aprendizagem no qual são inseridos. Assim, o sujeito crítico e transformador é formado para atuar em sua realidade no sentido de transformá-la, ou seja, é o sujeito consciente das relações existentes entre sociedade, cultura e natureza, entre homens e mundo, entre sujeito e objeto, porque se reconhece como parte de uma totalidade e como sujeito ativo do processo de transformações sócio-histórico-culturais.” (Loureiro e Torres, 2016, p. 15)

Conforme relataram muitos alunos, eles se sentem profundamente envolvidos no projeto, adotando uma postura de autonomia e criticidade que os capacita a desempenhar um papel ativo e significativo nas mudanças sociais. Esse nível de engajamento é essencial para a Educação Ambiental Crítica, cujo objetivo é promover a transformação ao integrar o ser humano e o meio ambiente de maneira harmoniosa e equilibrada. Ao cultivar esse senso de participação e responsabilidade, a Educação Ambiental Crítica não apenas sensibiliza para as questões ambientais, mas também prioriza as necessidades e urgências tanto do meio ambiente quanto da sociedade. Assim, ela reconhece e valoriza a interdependência entre ambos, enfatizando a importância de uma abordagem integrada e sustentável para enfrentar os desafios contemporâneos.

Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão ao Programa de Recursos Humanos 20.1 da

ANP, ao LACQUA (Laboratório de Catálise e Química Ambiental) do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IQ-UFRJ), e, especialmente, à nossa orientadora, Jussara Lopes de Miranda, pelo seu apoio e orientação inestimáveis.

Referências

Angelo, C. **Brasil dobra aposta em fósseis e põe plano de transição no gerúndio - OC | Observatório do Clima**. OC | Observatório do Clima. Disponível em: <<https://www.oc.eco.br/brasil-dobra-aposta-em-fosseis-e-poe-plano-de-transicao-no-gerundio/>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

Baldiessa, A. Pesquisa-ação: uma metodologia do “conhecer” e do “agir” coletivo. **Sociedade em Debate**, v. 7, n. 2, p. 5–25, 2001.

Boehm, S; Schumer, C. **10 conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023**. WRI Brasil. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

Bouhid, R. Roseantony; Miranda, L. Jussara; Moura, C Luiza; et al. **Contextualizando a captura de gás carbônico por aminas com alunos de nível médio/técnico da rede federal de ensino tecnológico**. XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ) – Brasília, DF, Brasil – 21 a 24 de julho de 2010.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **PNPB, Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/pnpb>>. Acesso em: 21 jul. 2024.

Cavalcante Filho, P. G.; Buainain, A. M.; Cunha, M. P. DA. **Avaliação dos impactos socioeconômicos da cadeia produtiva do Biodiesel na agricultura familiar brasileira**. Estudos Econômicos (São Paulo), v. 51, n. 3, p. 493–527, jul. 2021.

Dziejarski, Bartosz; Serafin, Jaroslaw; Krzyzyska, Renata. **CO₂ capture materials: a review of current trends and future challenges**. Materials Today Sustainability, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100483>

Freire, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1988, 18ª edição.

Hooks, Bell et al. **Ensinando a transgredir: a educação como prática da liberdade.** São Paulo: WMF Martins Fontes, v. 2, 2013.

_____. **Ensinando pensamento crítico: sabedoria prática.** São Paulo: Elefante, 2020.

Loureiro, C. F. B. Educação ambiental transformadora. **Identidades da educação ambiental brasileira.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 65–84, 2004.

Loureiro, C. F. B.; Torres, J. R. **Educação ambiental: dialogando com Paulo Freire.** [s.l.] Cortez Editora, 2016.

Machado, N. **Indústria de biocombustíveis é a que mais emprega no Brasil entre as renováveis.** agência epbr. Disponível em: <<https://epbr.com.br/industria-de-biocombustiveis-e-a-que-mais-emprega-no-brasil-entre-as-renovaveis/>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

UNEP. **Fatos sobre a Emergência Climática.** UNEP - UN Environment Programme. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/explore-topics/climate-change/fatos-sobre-emergencia-climatica>>. Acesso em: 15 jul. 2024.