

## Do Caldo de Cana ao Bioetanol: Experimentos Acessíveis e Educação Ambiental no Ensino Médio

### From Sugarcane Juice to Bioethanol: Accessible Experiments and Environmental Education in High School

Lizandra Cristina A. S. S. Santos,<sup>a</sup> Andressa Esteves Souza,<sup>a</sup> Cláudio Eduardo Rodrigues-Santos<sup>a,\*</sup> 

<sup>a</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus de Seropédica, Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica, Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, CEP 238900-000, Seropédica-RJ, Brasil

\*E-mail: [claudioers@ufrj.br](mailto:claudioers@ufrj.br)

Submissão: 15 de Setembro de 2025 – Aceite: 19 de Maio de 2026 – Publicado online: 27 de Maio de 2026

The search for sustainable energy alternatives has driven the development of pedagogical practices that integrate science, technology, and environmental awareness. This study aimed to implement and evaluate a didactic sequence in Chemistry education addressing the production of bioethanol from sugarcane using low-cost, alternative materials. The proposal included alcoholic fermentation, simple distillation, and combustion testing of the produced ethanol, combined with lectures, diagnostic and evaluative questionnaires, and a technical visit to the Botanical Garden of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ). The study was conducted with 36 high school students from a public school in Rio de Janeiro during the second semester of 2024. Results revealed significant advances in the understanding of fermentation and distillation processes, as well as in the identification of sugarcane as the main raw material for bioethanol. Students also demonstrated increased awareness of environmental benefits, particularly the reduction of greenhouse gas emissions. The use of alternative materials for distillation proved pedagogically viable and accessible, distinguishing this approach from previous studies requiring traditional laboratory infrastructure. Therefore, the didactic sequence was effective in promoting integrated learning, student engagement, and critical awareness of the challenges and opportunities associated with the use of biofuels in the Brazilian context.

**Keywords:** Bioethanol; didactic sequence; environmental awareness.

## 1. Introdução

Os processos de fermentação são utilizados pelo homem há aproximadamente dez mil anos, permitindo a fabricação de bebidas por egípcios antigos, germanos e israelitas. No Brasil, o processo mais utilizado para a produção do etanol é a partir da fermentação alcoólica da cana-de-açúcar. A fermentação alcoólica é um processo exotérmico, de transformação química de monossacarídeos de seis carbonos ( $C_6H_{12}O_6$ ) em etanol ( $CH_3CH_2OH$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Com grandes investimentos na agricultura da cana-de-açúcar e em instalações industriais para geração de álcool, desde a década de 1970, o Brasil se tornou um grande produtor de etanol. Essa produção, que atualmente supera 30 bilhões de litros ao ano, se destina principalmente ao uso como biocombustível veicular, seja diretamente, na forma hidratada, ou como etanol anidro, adicionado à gasolina.<sup>1-3</sup>

Os biocombustíveis representam um pilar fundamental na matriz energética brasileira e na estratégia de transição

para uma economia de baixo carbono, consolidando o Brasil como um dos líderes mundiais na produção e uso de biocombustíveis.<sup>4,5</sup> Para além da importância industrial, pesquisas na área de educação em ciências têm mostrado que abordagens investigativas e experimentos práticos relacionados à produção de biocombustíveis podem ser estratégias importantes de ensino.<sup>6-9</sup>

Experimentos voltados para o ensino envolvendo fermentação de açúcares têm sido relatados há algumas décadas. Ferreira e Montes<sup>10</sup> realizaram um experimento prático e simples, utilizando a fermentação de açúcar por meio do microrganismo *Saccharomyces cerevisiae* (fermento usado na fabricação de pães e cerveja), utilizando como aparato um kitasato. Rodrigues *et al.* (2000)<sup>11</sup> relataram a produção de etanol por meio da fermentação, enfatizando o papel do álcool na sociedade, no intuito de despertar nos alunos o interesse por problemas vivenciados em seu dia a dia, como por exemplo o alcoolismo.

Em 2012, Peixoto *et al.*<sup>12</sup> desenvolveram um miniprojeto envolvendo fermentação e produção de álcool para o ensino

de química em disciplinas de química geral experimental em cursos de graduação. Braibante *et al.*<sup>13</sup> desenvolveram um importante trabalho no contexto da educação básica, a partir de uma abordagem interdisciplinar que articula aspectos históricos e químicos da produção de álcool, desde a introdução da cana-de-açúcar no Brasil império.

Além da técnica de fermentação, a própria cana-de-açúcar é um tema importante de ser trabalhado no ensino de química;<sup>14-16</sup> em 2021, Melo *et al.*<sup>17</sup> elaboraram uma sequência didática (SD) envolvendo o ciclo açucareiro, desenvolvendo um jogo didático que foi nomeado de *QuimiAçúcar*. Recentemente, Rosas *et al.* (2024)<sup>18</sup> realizaram experimentos de fermentação simples envolvendo materiais alternativos como luvas e potes com tampa, sem, no entanto, realizar a destilação.

Pensando a educação como um processo de formação social, intelectual, físico e moral, temas como educação ambiental tornam-se necessários na formação do indivíduo. A educação ambiental, termo usado pela primeira vez em 1965, de acordo com Ferreira *et al.*<sup>19</sup> estimula a conscientização acerca dos problemas ambientais, além de definir diretrizes para combatê-los, seja através de técnicas da conservação das reservas naturais ou de sugestões de práticas antipoluentes. Segundo Ferreira *et al.*<sup>19</sup> a educação ambiental:

“É uma vertente da Educação direcionada a assuntos que envolvem a interação homem-ambiente, e visa despertar uma consciência crítica sobre os problemas ambientais. Estimula também o indivíduo a desenvolver um caráter mais complexo e realista, considerando o ambiente em sua totalidade. Facilita a compreensão do ambiente como conjunto de relações entre os seres vivos e os não vivos ao conduzir esse indivíduo à percepção de que os problemas ambientais não podem e não devem ser tratados com neutralidade, mas precisam ser resolvidos com a mudança da relação entre a sociedade com a natureza.”

Para além de uma conscientização social, a utilização de práticas de ensino voltadas à educação ambiental, permite superar a visão fragmentada de física, química e biologia. Nesse sentido, as ações transdisciplinares fortalecem a ação coletiva em detrimento da individualização exacerbada promovida no século XXI, ao mesmo tempo em que dialogam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), favorecendo uma formação mais crítica e comprometida com os desafios socioambientais contemporâneos.<sup>20-24</sup>

Apesar das grandes conferências sobre as questões ambientais começadas em 1972, na conferência de Estocolmo, passando pela conferência das Nações Unidas sobre o desenvolvimento e meio ambiente (Rio de Janeiro),

1992, somente em 2001 por meio da Lei 10.172, o plano Nacional de Educação (PNE), consolidou a abordagem integral da educação ambiental como uma das metas para o ensino, segundo Magela *et al.*<sup>25</sup> Aprigio *et al.* (2024)<sup>26</sup> destacam que a educação ambiental se consolida como uma temática crucial na formação educacional contemporânea, indicando que os periódicos voltados à educação devem conter a temática. Estes autores sugerem, inclusive, a criação de uma seção de química ambiental na revista Química Nova na Escola, devido sua importância e à atualidade desse campo para o ensino.

No passado, ensinar significava que o professor atuava como detentor do conhecimento e o aluno aquele que receberia de modo passivo as informações passadas a ele. Atualmente, os professores procuram estratégias pedagógicas que levam o aluno a pensar, questionar e criar suas próprias ideias e conceitos em sala de aula, transformando o aprendizado em algo significativo e coerente com o cotidiano do aluno.

Dessa forma, a utilização da SD e experimentação em sala de aula cria um ambiente que facilita e torna atrativo o ensino. Segundo Barbosa<sup>27</sup> uma SD consiste em um conjunto de atividades ligadas entre si, planejadas para ensinar um conteúdo, etapa por etapa, sendo organizadas de acordo com os objetivos que o professor quer alcançar para a aprendizagem de seus alunos. Para tanto, uma SD deve seguir os seguintes passos: apresentação da situação, definição e formulação da tarefa; produção inicial, estabelecer o primeiro contato entre o aluno e o gênero textual proposto; módulos de atividade, atividades preparadas pelo professor de observação, análise e produção final.<sup>28</sup>

Nesse contexto, a SD configura-se como um suporte metodológico capaz de integrar diferentes estratégias pedagógicas, entre elas a experimentação, de forma planejada e articulada aos objetivos de aprendizagem. Assim, a inserção de atividades experimentais ao longo das etapas da SD potencializa o envolvimento dos estudantes e favorece a construção progressiva do conhecimento científico.<sup>29,30</sup>

De modo geral, as atividades experimentais podem ser organizadas em três grandes modalidades. A primeira corresponde àquelas em que o protagonismo é do docente, responsável pela condução dos procedimentos, enquanto os estudantes assumem uma postura predominantemente observacional. Normalmente breves e articuladas às aulas expositivas, essas práticas configuram-se como experimentos demonstrativos.<sup>31</sup>

A segunda modalidade compreende experimentos voltados à comprovação de leis ou teorias científicas. Ainda que possam apresentar restrições, como a ausência de infraestrutura laboratorial adequada, essas atividades são relevantes para a consolidação e validação empírica dos conceitos estudados. Conhecidas como experimentações de verificação, têm como objetivo evidenciar, por meio da

prática, princípios científicos previamente estabelecidos.<sup>32</sup>

Por fim, a terceira modalidade abrange atividades nas quais os estudantes assumem um papel ativo, participando da análise, interpretação e resolução de problemas. Denominadas experimentações investigativas, essas práticas favorecem a construção do conhecimento ao estimular a exploração, a reflexão e a participação crítica diante de desafios científicos.<sup>33</sup>

Considerando então a relevância dos temas relacionados à fermentação da cana-de-açúcar e o meio ambiente, este trabalho propôs a realização de um experimento prático simples, utilizando materiais alternativos, inserida em uma SD, que tem como propósito abordar questões ambientais.

Essa sequência contemplou a aplicação de questionários diagnósticos e avaliativos, aulas expositivas tendo como pano de fundo temas sensíveis a química, a execução dos experimentos em sala de aula, bem como uma visita técnica à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

## 2. Metodologia

A atividade foi realizada com materiais alternativos e de baixo custo, adequados à realidade da escola pública, e integrada a uma SD com enfoque reflexivo sobre aspectos químicos, ambientais e sociais dos biocombustíveis. A aplicação das atividades foi realizada durante o segundo semestre de 2024 no Colégio Estadual Deborah Mendes de Moraes, com turmas do terceiro ano do Ensino Médio, instituição pertencente à rede estadual de ensino do Rio de Janeiro (SEEDUC), localizada no bairro de Pedra de Guaratiba, na cidade do Rio de Janeiro, bem como na UFRRJ, envolvendo a participação de 36 alunos. A direção da instituição e os pais ou responsáveis legais pelos alunos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A proposta teve como cerne a produção de bioetanol a partir da fermentação do caldo de cana-de-açúcar, seguida de destilação simples e da realização de teste de combustão. A SD foi estruturada em cinco etapas.

Na primeira etapa, denominada Avaliação Diagnóstica, aplicou-se um questionário com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos biocombustíveis, do bioetanol e de seus impactos no meio ambiente (Figura 1). Na etapa seguinte, foi realizada uma aula expositiva com duração de dois tempos (1h40min), voltada à apresentação e à discussão de conceitos fundamentais, abordando os processos de fermentação, a produção de biocombustíveis, com ênfase no bioetanol, as reações químicas envolvidas na fermentação, as reações de transesterificação, bem como os impactos ambientais associados a esses processos. Na terceira etapa, correspondente à parte prática, foram desenvolvidas duas atividades experimentais: (i) a realização, em caráter demonstrativo, do experimento de fermentação do caldo de cana-de-açúcar, utilizando os materiais descritos a seguir (Figuras 2 e 3); (ii) a execução do processo de destilação do bioetanol com o uso de materiais alternativos em sala de aula. A quarta etapa consistiu em uma visita técnica à UFRRJ, durante a qual os estudantes visitaram o Jardim Botânico da instituição (Figura 3), realizaram a refeição no Restaurante Universitário e acompanharam, em laboratório de química orgânica, o processo de destilação do bioetanol. Por fim, na quinta etapa, aplicou-se um questionário avaliativo, o mesmo do início, com o objetivo de validar e comparar o desempenho final dos estudantes em relação aos conhecimentos inicialmente diagnosticados.

O procedimento experimental foi organizado em três etapas. Inicialmente, realizou-se o processo de fermentação, no qual 1 L de caldo de cana fresco foi adicionado a 40 g de fermento biológico comercial em uma garrafa PET de 5 L, adaptada com válvula de bloqueio de entrada de ar (Figura 2).

O sistema permaneceu em repouso sob luz solar durante sete dias. Em seguida, o mosto fermentando foi submetido a uma filtração simples (Figura 3C). No momento posterior, procedeu-se à destilação do material fermentado utilizando um aparato alternativo constituído por um

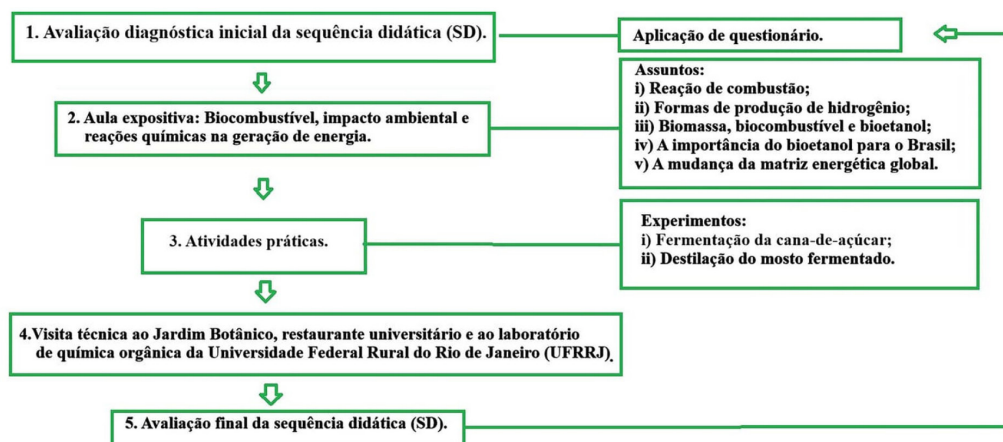


Figura 1. Esquema de fluxograma da SD aplicada na turma



**Figura 2.** (A) Válvula bloqueadora; (B) Garrafa de Pet de 5 L; (C) mosto: 1 L de caldo de cana-de-açúcar misturado a 40 g de fermento biológico seco



**Figura 3.** (A) Garrafa PET com água congelada; (B) Chaleira com a tampa selada com anel de silicone utilizando uma cola de cianoacrilato; (C) Funil feito com uma parte superior de garrafa PET e papel de filtro; (D) Recolhimento do etanol após a destilação; (E) Teste de ignição do etanol destilado realizado em colher metálica

bule (Figura 3B), fogão elétrico (Figura 3B, logo abaixo do bule), garrafa PET (Figura 3A) e uma mangueira de silicone acoplada à garrafa PET, que atuou como condensador. O mosto filtrado foi aquecido até a obtenção do destilado, correspondente ao bioetanol (Figura 3).

Por fim, realizou-se o teste de combustão, no qual o bioetanol produzido foi submetido à ignição com a chama de um fósforo, confirmando sua inflamabilidade característica.

### 3. Resultados e Discussão

As atividades realizadas ao longo do período de implementação da SD permitiram avaliar de forma detalhada o impacto das práticas educativas no aprendizado dos estudantes. A avaliação diagnóstica inicial indicou que os participantes possuíam conhecimento prévio sobre biocombustíveis e suas implicações ambientais, mas também evidenciou uma necessidade de aprofundamento teórico e prático. A aula expositiva sobre biocombustíveis constituiu a base conceitual essencial para a compreensão dos processos envolvidos na produção e no uso sustentável de combustíveis alternativos. Nesta aula, discutiu-se a necessidade urgente de promover a transição da matriz energética para alternativas mais sustentáveis, destacando-se, como fontes promissoras, o bioetanol, o biodiesel e o hidrogênio verde. Além disso, foram discutidas as reações de combustão a partir do etanol e do octanol, principal componente da gasolina. A partir do trabalho de Braibante *et al.*<sup>13</sup> algumas reações foram apresentadas e discutidas no âmbito geral, Figura 4. A ideia não era esmiuçar cada tema destes citados, mas deixar claro a necessidade de mudança da matriz energética vinda de combustível fóssil e as possíveis fontes para a nova matriz energética global.

A execução do experimento de fermentação, utilizando caldo de cana e fermento biológico, revelou-se uma estratégia eficaz para engajar os alunos, ao proporcionar experiência prática e contextualizada. Subsequentemente, a etapa de destilação em sala de aula consolidou os conhecimentos adquiridos, demonstrando de forma experimental a separação do etanol da solução fermentada. A transformação de um açúcar (sacarose), uma substância doce que eles conhecem, em um composto com gosto ardente (etanol) foi fundamental, pois foi possível demonstrar, assim como teste de ignição do etanol, as transformações de substâncias. Cabe destacar que nenhuma substância foi experimentada sensorialmente.

Apesar das limitações decorrentes dos recursos laboratoriais disponíveis, a eficiência do processo não foi comprometida. A visita à UFRRJ constituiu um marco significativo no processo educativo. Durante a visita ao Jardim Botânico (Figura 5), guiada por monitoria especializada do próprio espaço, os estudantes tiveram contato com diversas espécies vegetais e compreenderam a relação entre biodiversidade e fontes renováveis de energia.

A repetição do experimento de destilação em laboratório de química orgânica do Instituto de Química (Figura 5B), utilizando destiladores de vidro e fontes de calor controladas, proporcionou resultados mais precisos. Observou-se que a ignição do etanol ocorreu de forma mais rápida em comparação à realizada em sala de aula, indicando um menor teor de água no etanol obtido. Entretanto, cabe destacar que os estudantes consideraram mais interessante a realização



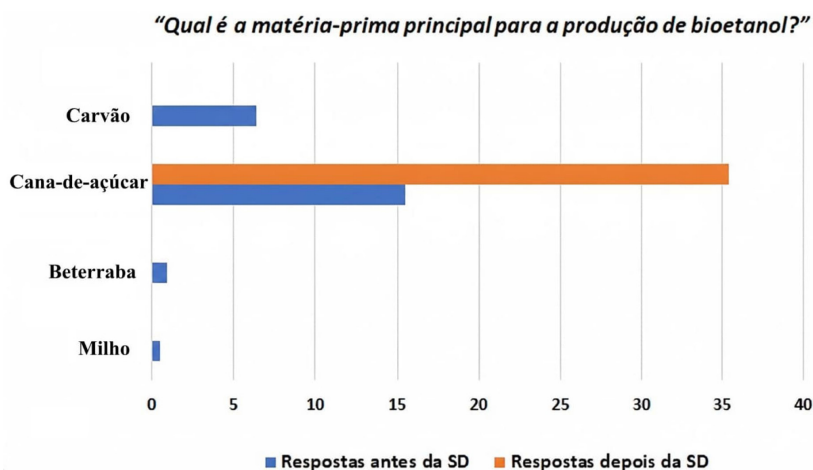
a produção de bioetanol?”, revelou que inicialmente apenas 58% dos alunos identificavam corretamente a cana-de-açúcar como principal fonte. Após a realização das atividades teóricas e práticas, o percentual de respostas corretas alcançou 100%, evidenciando a eficácia do ensino integrado entre a abordagem conceitual e a prática experimental (Figura 6).

Quanto ao entendimento do processo de produção, a quarta pergunta, “Como o bioetanol é produzido?”, mostrou um avanço de 64 para 100% de acertos, demonstrando que os alunos passaram a relacionar corretamente a fermentação de açúcares como etapa central do processo (Figura 7).

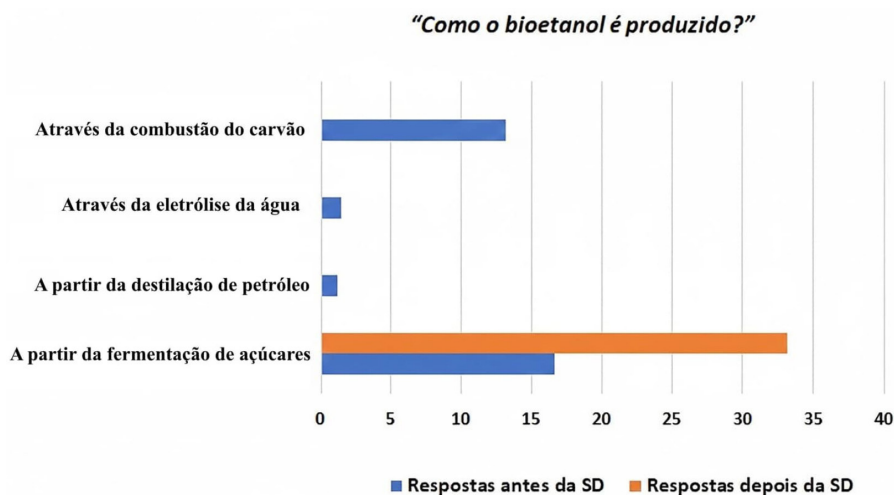
A quinta questão, “Qual é o processo utilizado para converter a matéria-prima em bioetanol?”, indicou um aumento mais modesto, de 69 para 78% de respostas corretas. A pequena diferença observada pode ser atribuída à confusão conceitual entre fermentação e etapas subsequentes, como destilação, destacando a necessidade de reforço didático sobre a sequência de processos. Em relação ao produto gerado, a sexta questão, “Qual é o principal produto gerado

na produção de bioetanol?”, evidenciou que 100% dos alunos passaram a reconhecer o etanol como resultado do processo. No que se refere aos impactos ambientais, a sétima questão, “Qual é o principal benefício ambiental do uso de bioetanol em comparação com combustíveis fósseis?”, evidenciou um aumento na consciência ambiental dos estudantes. Observou-se um maior reconhecimento da importância da redução das emissões de gases de efeito estufa, tendo 100% dos alunos associado corretamente esse benefício após a SD, o que corresponde a um aumento de 11% em relação à avaliação inicial.

Na oitava pergunta, “Um desafio associado ao uso de recursos alternativos é: a) Redução das emissões de gases de efeito estufa; b) Aumento da poluição atmosférica; c) Esgotamento de recursos não renováveis; d) Maior dependência de importações de petróleo”, revelou que, inicialmente, havia confusão conceitual entre os alunos sobre barreiras econômicas e ambientais. Após a SD, houve maior precisão nas respostas, com um aumento de



**Figura 6.** Respostas dos alunos (36 alunos no total) antes (azul) e depois (laranja) da aplicação da SD para a pergunta: “Qual é a matéria-prima principal para a produção de bioetanol?”



**Figura 7.** Respostas dos alunos (36 alunos no total) antes (azul) e depois (laranja) da aplicação da SD para a pergunta: “Como o bioetanol é produzido?”



ao estimular a participação ativa, a interpretação crítica e a aplicação dos conteúdos discutidos em sala de aula. Os pesquisadores Feierabend e Eilks,<sup>16</sup> encontraram resultados na mesma direção do trabalho aqui apresentado. Estes autores desenvolveram um plano de aula baseado em problemas que tiveram como tema principal o bioetanol, a avaliação se mostrou informativa, interessante e divertida. Segundo os achados dos autores, entretanto, a utilização da monocultura da cana-de-açúcar foi bastante criticada por parte dos alunos, em virtude de seu impactos ambientais, bem como por não se mostrar tão interessante para as condições climáticas da Alemanha, contexto em que o estudo foi desenvolvido.

Melo *et al.*<sup>17</sup> também desenvolveram uma SD com a temática do bioetanol, cujos resultados indicaram que os alunos conseguiram relacionar os conteúdos trabalhados com o seu cotidiano, gerando uma prática de ensino democrática e questionadora. Contudo, a SD proposta teve caráter exclusivamente teórico, sendo materializada, mais especificamente, por meio um jogo de tabuleiro. Outro trabalho teórico sobre o bioetanol foi apresentado por Rodrigues *et al.*,<sup>11</sup> que relata a produção de bioetanol, mas tem como foco principal os aspectos sociais do álcool em bebidas e suas consequências na sociedade.

Rosas *et al.*<sup>18</sup> desenvolveram um experimento de fermentação utilizando um mosto fermentado por sete dias, entretanto, diferente do experimento do trabalho apresentado, não realizaram a destilação, mas puderam observar o trabalho em equipe e a construção da coletividade.

Portanto, a abordagem dos biocombustíveis em sala de aula transcende a apresentação de uma fonte alternativa de energia, constituindo-se como uma oportunidade para promover educação científica crítica e cidadã, alinhada aos desafios contemporâneos da sociedade.<sup>14,16</sup> A proposta experimental apresentada neste trabalho constituiu um incremento importante, uma vez que emprega materiais alternativos em sua montagem e execução no processo de destilação, possibilitando sua aplicação em ambiente de sala de aula de forma demonstrativa e acessível.

#### 4. Conclusão

Os resultados obtidos indicam que a SD implementada foi eficaz na promoção do aprendizado dos estudantes sobre bioetanol e sua importância no impacto ambiental, integrando de maneira consistente a teoria, experimentos e visita técnica. A avaliação diagnóstica inicial evidenciou conhecimentos prévios dos alunos, mas também lacunas conceituais que foram significativamente reduzidas após a intervenção da SD. A aplicação de atividades teóricas, como aulas expositivas, proporcionou a base conceitual inicial necessária para a compreensão dos processos de produção de bioetanol, enquanto os experimentos de fermentação e destilação

consolidaram o aprendizado de forma prática, contextualizada e engajadora. A compreensão dos processos de fermentação e destilação foi significativamente aprimorada, e os estudantes passaram a demonstrar maior consciência sobre os impactos ambientais positivos do bioetanol, destacando a redução de gases de efeito estufa. A abordagem integrada também favoreceu a percepção crítica sobre os desafios e oportunidades do uso de biocombustíveis no Brasil, equilibrando considerações econômicas e ambientais, e reconhecendo o custo inicial elevado como principal obstáculo à implementação. As atividades de imersão universitária, incluindo a visita ao Jardim Botânico, reforçaram o entendimento sobre biodiversidade, fontes renováveis de energia e alternativas sustentáveis, ampliando a compreensão dos alunos sobre o papel dos biocombustíveis na transição energética.

#### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

#### Referências Bibliográficas

1. Instituto Nacional de Tecnologia. Etanol ganha novos usos com a Química Sustentável. Disponível em: <<https://www.gov.br/int-pt-br/assuntos/revista-inovativa/edicoes/edicao-29/etanol-ganha-novos-usos-com-a-quimica-sustentavel>>. Acesso em: 11 maio 2026.
2. Ross, R. P.; Morgan, S.; Hill, C.; Preservation and fermentation: past, present and future. *International Journal of Food Microbiology* **2002**, *79*, 3. [Crossref] [PubMed]
3. Santos, F. A.; Silva, J. R.; Pereira, M. L.; Fermentation chemistry: A study abroad course. *Journal of Chemical Education* **2020**, *97*, 873. [Crossref]
4. Lyles, J. K.; Oli, M.; Fermentation revival in the classroom: investigating ancient human practices as CUREs for modern diseases. *FEMS Microbiology Letters* **2020**, *367*, 183. [Crossref] [PubMed]
5. Sabino, I. S.; Barbosa, M. M.; Sousa, F. W.; A produção de vinho artesanal como ferramenta para aprendizagem da fermentação alcoólica no ensino de química. *Lumen et Virtus* **2024**, *15*, 971. [Crossref]
6. Martín-Lara, M. A.; Calero, M.; Playing a board game to learn bioenergy and biofuels topics in an interactive, engaging context. *Journal of Chemical Education* **2020**, *97*, 1375. [Crossref]
7. Nida, S.; Marsuki, M. F.; Eilks, I.; Palm-oil-based biodiesel in Indonesia: A case study on a socioscientific issue that engages students to learn chemistry and its impact on society. *Journal of Chemical Education* **2021**, *98*, 2536. [Crossref]
8. Grandis, A.; Fortirer, J. S.; Pagliuso, D.; Buckeridge, M.

- S.; Scientific research on bioethanol in Brazil: History and prospects for sustainable biofuel. *Sustainability* **2024**, *16*, 4167. [Crossref]
9. Aguiar, D. R. D.; Taheripour, F.; Silva, D. A. L.; Ethanol fuel in Brazil: policies and carbon emission avoidance. *Biofuels* **2025**, *16*, 248. [Crossref]
10. Ferreira, E. C.; Montes, R.; A química da produção de bebidas alcoólicas. *Química Nova na Escola* **1999**, *10*, 50. [Link]
11. Rodrigues, J. R.; Aguiar, M. R. M. P.; Maria, L. C. S.; Santos, Z. A. M.; Uma abordagem alternativa para o ensino da função álcool. *Química Nova na Escola* **2000**, *12*, 20. [Link]
12. Peixoto, C. R. M.; Rosa, G. R.; Silva, C. N.; Santos, B. T.; Engelmann, T. L.; Miniprojeto para ensino de Química Geral Experimental baseado na fermentação do caldo de cana-de-açúcar. *Química Nova* **2012**, *35*, 1686. [Crossref]
13. Braibante, M. E. F.; Pazinato, M. S.; Rocha, T. R.; Friedrich, L. S.; Nardy, F. C.; A cana-de-açúcar no Brasil sob um olhar químico e histórico: Uma abordagem interdisciplinar. *Química Nova na Escola* **2013**, *35*, 3. [Link]
14. Silva, Z. B. G.; Marestoni, L. D.; Produção do etanol de cana-de-açúcar como tema interdisciplinar no ensino médio. *Educação – Revista Multidisciplinar em Educação* **2020**, *7*, 532. [Link]
15. McCance, K. R.; Suarez, A.; McAlexander, S. L.; Davis, G.; Blanchard, M. R.; Venditti, R. A.; Modeling a biorefinery: converting pineapple waste to bioproducts and biofuel. *Journal of Chemical Education* **2021**, *98*, 2047. [Crossref]
16. Feierabend, T.; Eilks, I.; Teaching the societal dimension of chemistry using a socio-critical and problem-oriented lesson plan based on bioethanol usage. *Journal of Chemical Education* **2011**, *88*, 1250. [Crossref]
17. Melo, P. H.; Bara, A. C. C.; Fernandes, K. G.; Vieira, F. A. C.; Freitas-Reis, I.; Ciclo Açucareiro: da fabricação de açúcar à produção de etanol. *Química Nova na Escola* **2021**, *43*, 261. [Crossref]
18. Rosa, V. C.; Pires, J. N.; Alves, K. M. M.; Neves, N. N.; Alves, W. F.; Produção de etanol com materiais de baixo custo: um caminho para a experimentação no ensino de química. *Scientia Naturalis* **2024**, *6*, 463. [Crossref]
19. Ferreira, L. C.; Martins, L. C. G. F.; Pereira, S. C. M.; Raggi, D. G.; Silva, J. G. F.; Educação ambiental e sustentabilidade na prática escolar. *Revista Brasileira de Educação Ambiental* **2019**, *14*, 201. [Crossref]
20. Marcelino, L. V.; Dias, E. D. S.; Rüntzel, P. L.; Milli, J. C. L.; Santos, J. S.; Souza, L. C. A. B.; Marques, C. A.; Didactic features specific to green chemistry teaching in the Journal of Chemical Education. *Journal of Chemical Education* **2023**, *100*, 2529. [Crossref]
21. Silva, I. F.; Nascimento, P. H. P.; Lago, R. M.; Ramos, M. N.; Galembeck, F.; Rocha Filho, R. C.; Teixeira, A. P. C.; Movimento Química Pós 2022: Construção de um plano de ação para que a química e seus atores impactem a sustentabilidade e soberania no Brasil. *Química Nova* **2022**, *45*, 497. [Crossref]
22. Trevisan, H.; Rocha, N. F.; Fernandes, V. J.; Palermo, G. P. M.; Brioso, P. S. T.; Coelho Netto, J. V. L.; Santos, C. E. R.; Percepção de áreas verdes, arborização e condições ambientais do campus da UFRRJ pelos alunos de cinco cursos de graduação. *Revista Caderno Pedagógico* **2021**, *21*, e5243, 1. [Crossref]
23. Dao, T. H. H.; Nguyen, H. G. K.; Ta, M. T.; Thai, H. M.; Implementing education for sustainable development at high schools: Lessons learned from a case of teaching about halogen-containing pesticides in Vietnam. *Journal of Chemical Education* **2024**, *101*, 4870. [Crossref]
24. Holst, J.; Brock, A.; Grund, J.; Schlieszus, A. K.; Singer-Brodowski, M.; Whole-school sustainability at the core of quality education: Wished for by principals but requiring collective and structural action. *Journal of Cleaner Production* **2025**, *519*, 145897, 1. [Crossref]
25. Magela, W. F.; Mesquita, N. A. S.; Relações sociedade-natureza em perspectiva: educação ambiental nas licenciaturas em química dos institutos federais no Brasil. *Química Nova* **2021**, *44*, 636. [Crossref]
26. Aprígio, S. S. O.; Nascimento, M. V. L.; Cantanhede, L. B.; Cantanhede, S. C. S.; Mesquita, N. A. S.; Magela, W. F.; Abordagem da educação ambiental no ensino de química: uma análise a partir de artigos publicados na revista Química Nova na Escola (QNEsc). *Química Nova* **2024**, *47*, e-20240067, 1. [Crossref]
27. Barbosa, R. M.; *Descobrimo a Geometria Fractal: Para a Sala de Aula*, 1a. ed., Autêntica: Belo Horizonte, 2002.
28. Monteiro, J. C.; Castilho, W. S.; Souza, W. A.; Sequência didática como instrumento de promoção da aprendizagem significativa. *Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica* **2019**, *9*, 292. [Link]
29. Silva, M. L. R. B.; Slagueiro, C. D. B. L.; Silva Filho, L. G.; Beltrão, M. R. M.; Silva, E. M. S. S.; Silva, R. A.; Experimentação como ferramenta pedagógica: contribuições para o ensino de ciências e matemática. *Revista Ibero-Americana de Humanidades Ciências e Educação* **2024**, *10*, 1. [Crossref]
30. Zabala, A.; *A Prática Educativa: Como Ensinar*, 1a. ed., Artmed: Porto Alegre, 1998.
31. Silva, L. R. R.; Ventura, V.; Almeida, M. O.; Lima, N. M. A.; Silva, K. T.; Maira, F. J. N.; Sampaio, S. G.; Bezerra, T. T.; Guedes, I.; Ribeiro, V. G. P.; Mazzetto, S. E.; Fraude no leite: experimento investigativo para o ensino de Química. *Revista Virtual de Química* **2019**, *11*, 1024. [Crossref]
32. Rocha, J.; Coelho, A. D. M.; Cordeiro, F. C.; Rodrigues-Santos, C. E.; Elaboração e aplicação de uma atividade experimental de cunho investigativo baseado em reações colorimétricas. *Contribuciones a las Ciencias Sociales* **2024**, *17*, e10433. [Crossref]
33. Gonçalves, R. P. N.; Goi, M. E. J.; Formação de professores e experimentação investigativa no ensino ciências da natureza: uma revisão de literatura. *Cadernos Cajuína* **2025**, *10*, e846, 1. [Crossref]
34. WordArt. Disponível em: <<https://wordart.com/login?next=/dashboard>>. Acesso em: 08 maio 2026.