



A Produção de Etanol de Segunda Geração como Ferramenta de Ensino da ODS 7 da Agenda de 2030 da ONU

Flávia Belinelli Alves, Aline Carvalho da Costa, Roberta Ceriani

University of Campinas, School of Chemical Engineering, Albert Einstein Avenue, 500, 13083-852 Campinas, Brazil

Introdução

O etanol de primeira geração está inserido na matriz energética de muitos países como uma alternativa sustentável a combustíveis derivados do petróleo. O Brasil destaca-se dentre esses países, produzindo etanol a partir da cana-de-açúcar. No entanto, essa produção é majoritariamente de primeira geração, aproveitando-se apenas o caldo da cana-de-açúcar, enquanto o grande potencial energético do bagaço (dois terços da energia da cana) é desperdiçado. Nesse contexto, a produção de etanol de segunda geração (a partir do bagaço da cana-de-açúcar) tem sido alvo de diversos estudos que visam a inserção do etanol 2G no mercado.

Além de promover um melhor aproveitamento energético, a produção de etanol 2G se destaca em termos ambientais pois não requer a expansão das áreas de cultivo, já que a matéria-prima, o bagaço da cana-de-açúcar, é excedente do etanol 1G já produzido em larga escala. Ademais, para que esse resíduo possibilite a produção de etanol 2G, a colheita da cana não pode ser feita por meio da queima. Essa exigência representa uma grande vantagem considerando-se que as queimadas estão entre os principais fatores de impacto ambiental no cultivo da cana, afetando profundamente o solo e a saúde dos trabalhadores dos canaviais [1].

O bagaço da cana-de-açúcar tem como componentes principais a celulose, hemicelulose e lignina, que estão fortemente ligados entre si e organizados em uma estrutura rígida e complexa [2]. Dada essa estrutura rígida do bagaço, o acesso à celulose, necessário para iniciar a produção do etanol, é comprometido, sendo necessária uma etapa de pré-tratamento para facilitar o contato do reagente escolhido com a celulose. Essa etapa é responsável pela separação dos três principais componentes, através da solubilização da lignina e pela abertura da estrutura cristalina da celulose [3]. Após o pré-tratamento, a etapa de hidrólise é realizada a fim de converter a celulose em glicose, partindo de reagentes ácidos ou de enzimas. O segundo método é preferível, apesar de mais caro, por gerar menos subprodutos, aumentando o rendimento de açúcares fermentescíveis, além de ocorrer em condições amenas de pH e temperatura [4].

Em seguida, é realizada a fermentação do hidrolisado, em que a glicose obtida na hidrólise é convertida pelas leveduras (como por exemplo a *Saccharomyces cerevisiae*) em etanol, dióxido de carbono e outros subprodutos. A fermentação gera um produto final denominado vinho fermentado [5], que deve então ser destilado para obtenção do etanol purificado. As etapas de fermentação e destilação podem ser idênticas às de produção do etanol 1G, o que permite o aproveitamento da indústria e maquinário já existentes [6].

Os grandes desafios para tornar a produção de etanol 2G economicamente viável são os danos aos equipamentos na etapa de pré-tratamento, o alto custo das enzimas que convertem a celulose em açúcares, e a eficiência das leveduras, que quebram hexoses com mais facilidade do que as pentoses geradas no processo [7].



Descrição do Projeto

O presente projeto de Iniciação Científica teve como objetivo despertar o interesse de alunos de ensino médio pela pesquisa através do estudo do processo de produção de etanol 2G. Ele está inserido no projeto interdisciplinar “Olhos no Futuro” – A sustentabilidade como promotora do trabalho decente e da infância e juventude, que está sendo desenvolvido por diversas unidades de ensino da UNICAMP. Conta com o apoio do Projeto Campus Sustentável e do Observatório de Direitos Humanos – UNICAMP, em parceria com a Escola Estadual Dr. Telêmaco Paioli Melges. Ao todo são 8 subprojetos concomitantes.

Espera-se que o projeto interdisciplinar promova a aproximação entre a Unicamp e a sociedade, colocando em foco o potencial das pesquisas acadêmicas como promotoras de qualidade de vida, ao alinharem-se aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. O projeto prevê a capacitação de estudantes do ensino fundamental II e médio como agentes de transformação, ou multiplicadores do conhecimento na sociedade. Tais estudantes devem desenvolver a capacidade de replicar na comunidade o trabalho decente bem como outras metas previstas pelos ODS.

Esse projeto de Iniciação Científica, em particular, está incluso no subprojeto “Do bagaço de cana de açúcar ao etanol”, que visa a disseminação de conhecimentos necessários para promover o desenvolvimento sustentável, um dos objetivos inclusos no ODS 4. Além disso, relaciona-se a esta pesquisa o ODS 7 – Energia limpa e acessível, dado o aprofundamento em estudos referentes à sustentabilidade ambiental e econômica do etanol 2G; a abordagem das relações de trabalho na colheita da cana-de-açúcar associa o projeto ao ODS 8 – Trabalho decente e crescimento econômico, visando aumentar a visibilidade do tema; por fim, a preocupação com a utilização eficiente deste recurso na produção de energia coloca em pauta o ODS 12 – Consumo e produção responsáveis.

Como a ideia é que o processo de produção do etanol 2G possa ser replicado na escola a nível do ensino médio, as etapas de produção deste combustível foram idealizadas a partir de reagentes mais acessíveis, como por exemplo, água oxigenada, soda cáustica e fermento biológico. O processo estudado por Rabelo et al. (2014) foi usado como referência para as etapas laboratoriais.

Paralelamente às atividades experimentais, foi iniciada a confecção de uma apostila relacionando a produção do etanol com as disciplinas cursadas no ensino médio, partindo-se do trabalho feito em laboratório e de pesquisa bibliográfica. Tal pesquisa visou a abordagem tanto da questão técnica quanto da questão social do processo, explorando, por exemplo, as relações de trabalho na colheita da cana. Desta forma, espera-se despertar o interesse dos estudantes pela área de pesquisa em questão e pela solução dos problemas a ela relacionados, partindo do domínio sobre os ODS como ferramenta de transformação da sociedade.

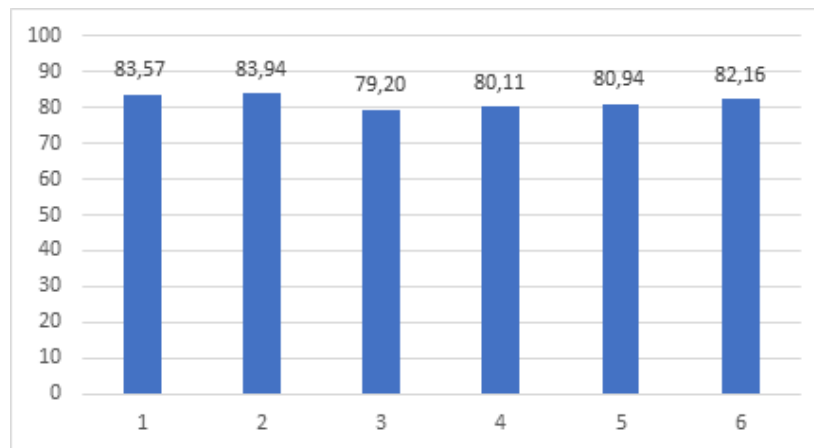
Metodologia e resultados

O peróxido de hidrogênio utilizado por Rabelo et al. (2014) no pré-tratamento foi substituído pela água oxigenada 30 volumes (facilmente obtida na farmácia), que contém 9% (v/v) de peróxido. Foram utilizados 4 % (m/m) de massa seca de bagaço de cana-de-açúcar. Paralelamente, a água oxigenada foi basificada com solução concentrada de hidróxido de sódio até pH 11,5. Em seguida, o sistema foi homogeneizado para que todo bagaço ficasse em contato com a água oxigenada.



O *erlenmeyer* foi vedado com papel alumínio e inserido em *shaker*, com agitação de 150 rpm a 25 °C, onde foi deixado por uma hora. Por fim, o bagaço foi lavado por 20 minutos, para remoção dos sólidos solúveis, e deixado em repouso para secagem a temperatura ambiente, por pelo menos um dia. O pré-tratamento foi feito duas vezes em triplicata. A massa seca de bagaço foi calculada antes e depois da etapa de pré-tratamento, para o cálculo do rendimento de cada amostra.

Gráfico 1: Rendimento no pré-tratamento



A média populacional calculada nesta etapa, expressa como um intervalo (95% de confiança), foi de $79,656\% < \mu < 83,650\%$.

As amostras 1-2, 3-4 e 5-6 foram unidas e a hidrólise foi realizada em triplicata, com uma solução de tampão citrato 0,05 mol/L a pH 4,8, em um Erlenmeyer de 250 mL, com concentração de sólidos de 6% (m/m). Os *erlenmeyers* foram então dispostos em uma incubadora com agitação orbital a 150 rpm, 50°C e 15 FPU/g de bagaço de Cellic Ctec 2 (Novozymes). Após 48h, o produto foi filtrado a vácuo e a fração líquida foi reservada para

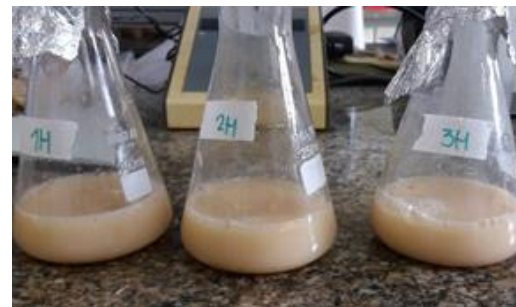


Figura 1: Hidrólise em triplicata



Figura 2: Filtração a vácuo

futura análise dos açúcares redutores totais (ART) utilizando o método do ácido dinitro-3,5-salicílico (DNS). A análise de ART não foi realizada devido à pandemia da covid-19, que impossibilitou a continuidade das atividades experimentais. Esta fração será levada a fermentação posteriormente, etapa em que será utilizado o fermento biológico Fleischmann, de fácil acesso para os alunos por outros alunos que estão dando continuidade ao projeto..

Por se tratar de uma etapa lenta, o objetivo não é reproduzir a hidrólise na escola, mas registrar em formato de vídeo as etapas inicial e final realizadas no laboratório. Após a filtração, a fração sólida foi descartada e a líquida, armazenada sob refrigeração para futura análise dos açúcares redutores totais.



Diálogo com a Escola

Durante o semestre foram realizadas, no total, quatro reuniões com representantes da escola Dr. Telêmaco Paioli Melges (diretor, coordenadores, professores), os coordenadores do projeto “Olhos no futuro” e dos subprojetos, bem como os alunos de IC envolvidos. Cada subprojeto apresentou sua proposta de intervenção na escola e, a partir daí, foram discutidos possíveis planos de ação a distância, colocando em pauta a viabilidade do início das aplicações ainda em 2020. Outras ações serão desenvolvidas no retorno das atividades presenciais, no primeiro semestre de 2021. Dentro do subprojeto “Do bagaço da cana de açúcar ao etanol”, foram programadas 6 oficinas em ambiente escolar com atividades dentro da perspectiva da produção do etanol 2G, baseadas na aprendizagem ativa. Serão feitas atividades de acolhimento, apresentação da proposta de trabalho, levantamento do conhecimento prévio, práticas de laboratório e discussões, e uma visita ao laboratório de graduação da FEQ/UNICAMP, para o experimento de destilação de uma mistura binária etanol/água.

No cenário atual, considerando uma atuação a distância, pretende-se elaborar pequenos vídeos de apresentação de cada subprojeto aos alunos, que serão disponibilizados através de uma conta a ser criada no *Instagram*, representando o projeto “Olhos no futuro” como um todo. Este subprojeto, em particular, pretende realizar uma tentativa de bate-papo virtual com os alunos (roda de conversa) ainda no segundo semestre de 2020, a fim de sensibilizá-los quanto aos objetivos do subprojeto e ouvir sua visão sobre o assunto, conhecimentos prévios, receios e afins. Caso falha, a tentativa será repetida presencialmente em momento oportuno.

Apostila

Durante o segundo semestre, dada a interrupção das atividades em laboratório, os bolsistas envolvidos no subprojeto “Do bagaço da cana de açúcar ao etanol” dedicaram-se à pesquisa bibliográfica e elaboração da apostila que será material de estudo para os alunos da escola, nas diferentes oficinas que estão sendo planejadas. Para que a linguagem fosse adequada ao nível de ensino médio, grande parte do material teve como referência bibliográfica livros didáticos utilizados nas escolas públicas, como os livros de biologia de AMABIS, José Mariano e MARTHO, Gilberto Rodrigues, e de química, de FELTRE, Ricardo.

De início, foi feita uma sensibilização sobre o tema, abordando a crescente importância do aproveitamento de resíduos, como o bagaço da cana, na produção de energia. Em termos mais técnicos, foi necessário abordar a composição química do caldo e do bagaço da cana-de-açúcar, a fim de garantir a compreensão do objetivo do processo, ou seja, qual componente deseja-se obter e o porquê.

Em seguida, foram abordadas as etapas do processo, esclarecendo-se o objetivo de cada uma e qual a função de cada reagente envolvido. Conceitos como pH ácido e básico, dissolução, catalisadores, fermentação, dentre outros, foram descritos a fim de reforçar conteúdos já estudados no Ensino Médio, evidenciando a aplicação do currículo escolar em importantes processos práticos.

As etapas apresentadas, com exceção da fermentação, foram ainda descritas experimentalmente, abordando-se dados específicos como a proporção de reagentes, cálculos envolvidos e procedimentos de forma geral, com base nas atividades previamente desenvolvidas em laboratório.



Referências

- [1] CATOLICO, A. C; OLIVEIRA, R.; CRIVELARE, L.; OLIVEIRA, A. Análise de sustentabilidade do etanol 2G e bioenergia da cana. Fórum Ambiental da Alta Paulista. v.11, n.9, p.1-16, (2015).
- [2] Kim, T. H.; Yang, S. T.; EI-Enshasy, H. A.; Thongchul, N. Pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioprocessing Technologies in Biorefinery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals, and Polymers*, Wiley, New York, USA, pp. 91-109, 2013.
- [3] PANDEY, A., SOCOOL, C. R., NIGAM, P., et al. Biotechnological potential of agroindustrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 74:69-80, 2000.
- [4] DIAS, M.O.S. Simulação do processo de produção de etanol a partir do açúcar e do bagaço visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes de bagaço, 2008. 253p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- [5] ALMEIDA, C. P. de. A influência dos contaminantes na fermentação alcoólica. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis. Assis. 2015.
- [6] RABELO, S. C. Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração. 2010. 414 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2010.
- [7] MARQUES, F. Obstáculos no caminho. *Revista Pesquisa FAPESP*. n.268, jun., 2018. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2018/06/18/obstaculos-no-caminho/>. Acesso em 26 jan., 2020.
- [8] Rabelo, S.C., Andrade, R.R., Maciel Filho, R., Costa, A.C., 2014. Alkaline hydrogen peroxide pretreatment, enzymatic hydrolysis and fermentation of sugarcane bagasse to ethanol. *Fuel* 136, 349–357.