

2025

# RESUMOS QUIMTECH

*II Simpósio  
novembro/2025*

**Fatec**

**Piracicaba**  
Deputado Roque Trevisan

**Etec**

**Cel. Fernando  
Febeliano da Costa**  
Piracicaba

**Comissão Científica**

Cristine do Carmo Schmidt Bueno de Moraes

Gisele Gonçalves Bortoleto

Glauco Martins de Mello Junior

Karina Cenciani Rebelo

Marcel Salmeron Lorenzi

Marcia Regina Dal Medico Patrocínio

Natália Galletti Garcia

Silene Cristina de Lima Paulillo

Wagner Fernando Ferreira

**Comissão Editorial**

Amanda Andrade Vilela da Silva

Janaína de Oliveira

As opiniões expressas nos artigos assinados são de inteira responsabilidade dos/as autores/as

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Quimtech (2. : 2025. : Piracicaba, SP)

Anais [recurso eletrônico] do II Simpósio Quimtech, 24 de novembro de 2025 / organização Gisele Gonçalves Bortoleto, Wagner Ferreira, Amanda Andrade Vilela da Silva – Piracicaba: Ed. da Comissão, 2025.

Vários Autores.

Disponível em: <https://fatecpiracicaba.cps.sp.gov.br/>

1. Química. 2. Simpósio. I. Quimtech. II. BORTOLETO, Gisele Gonçalves.  
CDD – 540.

Bibliotecária responsável: Amanda Andrade Vilela da Silva – CRB8/10895

## SUMÁRIO

- ANÁLISE DA PRESENÇA E CONCENTRAÇÃO DE COBRE (CU), NÍQUEL (NI) E CROMO (CR) NAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO PIRACICABA.....**1-2**  
Alice Beatriz Cabral Mendes; Aline de Almeida Andrade; Aquiles de Oliveira; Gabriela Delvaje Erler; Maria Eduarda Pêgo Piromal
- ANÁLISE DO EXCESSO DE FLUORETOS NA ÁGUA E NO SOLO DE REGIÕES AFASTADAS DE CENTROS URBANOS .....**3-4**  
Ana C. P. Turini; Maria T. Fernandes
- CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS PROPRIEDADES DE SAPONIFICAÇÃO DO EXTRATO DA CASCA DO JUAZEIRO E COMPARAÇÃO COM XAMPUS INDUSTRIAIS.....**5**  
Amanda da Silva Barbosa; Daniel Chagas de Assiz; Danielle Lima Abreu; Thayná Alves de Almeida
- EFICIÊNCIA FERMENTATIVA DE LEVEDURAS EM USINAS FLEX: UMA ABORDAGEM COM MILHO E CANA DE AÇÚCAR.....**6-9**  
Camila Carvalho; Eduarda V. Camargo; Gabriela C. Ferreira; Livia V. Moraes; Raiane R. C. Guedes
- ÉOS - BELEZA QUE NASCE DA ECONOMIA CIRCULAR.....**10-12**  
Aline Domingues dos Santos; Julia Scotton Pavan; Maressa da Costa Mascarenhas
- ESTUDO DA VITALIDADE DE LEVEDURAS E EFICIÊNCIA FERMENTATIVA.....**13-16**  
Bruna Christofolletti; Brunno A. G. Paschoal; Felipe Ribeiro; Giovana B. G. Peres
- OTIMIZAÇÃO DO PREPARO DE AMOSTRAS PARA ANÁLISES DA FERMENTAÇÃO DO ETANOL DE MILHO.....**17-20**  
Larissa Dourado Bortoleto; Priscila Pinheiro de Lima; Yasmim Lourenço da Conceição

REALIZAÇÃO:



Fatec  
Piracicaba  
Deputado Roque Trevisan

Etec  
Cel. Fernando  
Febeliano da Costa  
Piracicaba



APOIO:



|  |              |
|--|--------------|
| REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM DO POLIESTIRENO<br>EXPANDIDO TORNANDO-O EM UM PRODUTO RENTÁVEL E<br>PROVEITOSO.....              | <b>21-22</b> |
| Elisa Silveira; Helen Cerimarco; Luiza Cantoviks; Nicolas Bagarollo  |              |
| SABONETE PET SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DO ÓLEO DE MILHO<br>RESIDUAL.....   | <b>23-26</b> |
| Felipe Mazzi da Silva; Geiziele Porto Classere; Julia de Camargo Silva   |              |
| SIMULADOR DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO ETANOL DE MILHO E SEUS<br>CO-PRODUTOS .....  | <b>27-31</b> |
| Davi Ramaciotti Guedes; Marcos Iury Felix Inacio; Matheus Henrique Magrini Callegaro; Nicolas Mardegan de Lima                 |              |
| USO DA FIBRA DE COCO NA FILTRAÇÃO E ADSORÇÃO DE IMPUREZAS NO<br>CALDO DE CANA.....   | <b>32-34</b> |
| Arthur Araújo Lima; Beatriz Vitória Souza Oliveira; Luis Henrique Balaminute; Mariana Leite Grune                              |              |
| UTILIZAÇÃO DOS INIBIDORES NBPT E DCD INCORPORADOS VISANDO<br>REDUZIR PROCESSOS DE PERDAS DE NITROGÊNIO.....                    | <b>35-36</b> |
| Beatriz Degaspari; Daniel Ferreira; Henrique Faganello; Isabelly Silva; João Paschoalini; Eduardo Mariano                      |              |
| VALORIZAÇÃO DA PALHA DO MILHO: SUSTENTABILIDADE E<br>BIOECONOMIA CIRCULAR.....   | <b>37-41</b> |
| Isabela Vendramini Cristal; Matheus Augusto de Oliveira Custodio; Cauã Eduardo Barbosa Leopoldo; Maria Eduarda Souza Gonçalves |              |
| VHGF – VERY HIGH GRAVITY FERMENTATION: EFICIÊNCIA DE DIFERENTES<br>CATALIZADORES.....  | <b>42-43</b> |
| Samuel Milanez Antonio; Samuel Moreira da Silva  |              |

REALIZAÇÃO:

APOIO:

# ANÁLISE DA PRESENÇA E CONCENTRAÇÃO DE COBRE (CU), NÍQUEL (NI) E CROMO (CR) NAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO PIRACICABA

Alice Beatriz Cabral Mendes<sup>1</sup>, Aline de Almeida Andrade<sup>1</sup>, Aquiles de Oliveira<sup>1</sup>, Gabriela Delvaje Erler<sup>1</sup>, Maria Eduarda Pêgo Piromal<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>ETEC Coronel Fernando Febeliano  
wagner.ferreira@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

O rio Piracicaba é um dos mais importantes do interior do estado de São Paulo, onde desempenha um papel fundamental no abastecimento, agricultura e atividades industriais da região [1]. Com o crescimento urbano e industrial ao redor do rio, despejos descontrolados de esgotos domésticos e industriais passaram a influenciar e comprometer fortemente a qualidade da água.

Entre os principais poluentes dessas atividades antrópicas destacam-se os metais pesados, tais metais que podem ser encontrados de diferentes formas químicas nos compartimentos ambientais (água, solos, sedimentos, organismos vivos), com alto fator de toxicidade e baixa taxa de remoção [2].

## 2. JUSTIFICATIVA

A região de Piracicaba abriga um grande número de empresas, cujos processos envolvem a galvanoplastia [3], geralmente sem o devido tratamento dos efluentes gerados. Situação essa que tem sido associada a diversos incidentes de descartes inadequados, em especial na região de Limeira, que influencia diretamente nas bacias de Piracicaba, conforme registros ambientais e estudos anteriores [1].

Essas práticas resultam na presença de compostos tóxicos, como cobre (Cu), níquel (Ni) e cromo (Cr), em diferentes trechos das bacias hidrográficas locais [4]. Diante disso, o presente trabalho visa analisar a possível contaminação por metais pesados nessas bacias, avaliando se os processos industriais podem representar riscos à saúde e ao meio ambiente da região de Piracicaba.

## 3. OBJETIVO GERAL

Avaliar a presença e a distribuição dos metais Cr, Cu e Ni nos sedimentos das nascentes da bacia do rio Piracicaba, SP, identificando possíveis fontes de contaminação.

## 4. METODOLOGIA

Foi utilizado o método de pesquisa descritiva, pois este estudo visa descrever e analisar o fenômeno existente da poluição, tendo como objetivo investigar se os processos dependentes da galvanoplastia estão relacionados a Piracicaba e seus possíveis poluentes. Sendo assim, tornou-se necessário investigar os rios de Limeira, que são afluentes do rio Piracicaba e compreender a origem dessa influência.

Adotou-se também o método hipotético-dedutivo, uma vez que esse trabalho é baseado em uma hipótese, com a finalidade de investigar se esse processo contribui para a poluição dos rios e, em caso afirmativo, identificar sua origem.

Foi realizado um procedimento documental, utilizando dados secundários sobre a presença dos metais pesados cobre (Cu), cromo (Cr) e níquel (Ni), provenientes da galvanoplastia, nos Ribeirões Tatu e Lagoa Nova, Córrego da Corredeira e Rio Piracicaba. A análise foi conduzida pela empresa Mérieux, em parceria com a ONG Remo, em agosto de 2025, dentro do projeto “Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Piracicaba”, por meio da técnica de Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) [2].

Para interpretar os resultados, utilizou-se como referência a Resolução CONAMA nº 357/2005 [5], que estabelece os limites de concentração de metais pesados para determinar se um rio é considerado poluído.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises realizadas por ICP-MS permitiram identificar as concentrações de cobre (Cu), cromo (Cr) e níquel (Ni) em diferentes pontos de amostragem na região de Piracicaba. Os resultados mostraram que a Ponte Estaiada, o Córrego da Corredeira e o Ribeirão Lagoa Nova apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 [5], indicando boa qualidade ambiental e baixa influência de efluentes metálicos.

Por outro lado, o Ribeirão Tatu apresentou concentração de níquel acima do valor máximo permitido, evidenciando possível influência de atividades industriais na região. De modo geral, os dados demonstram que a maioria dos pontos apresenta condições adequadas, mas o Ribeirão Tatu requer monitoramento e ações preventivas para evitar a intensificação da contaminação.

## 6. CONCLUSÕES

As análises por ICP-MS mostraram que a Ponte Estaiada, o Córrego da Corredeira e o Ribeirão Lagoa Nova apresentaram concentrações de Cu, Cr e Ni dentro dos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 [5], indicando boa qualidade ambiental. Já o Ribeirão Tatu apresentou níveis de níquel acima do permitido, sugerindo influência antrópica e necessidade de monitoramento. Assim, o estudo atingiu seus objetivos ao identificar áreas seguras e pontos críticos, contribuindo para a avaliação ambiental da região.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] CETESB. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo 2020**. São Paulo: CETESB, 2021.
- [2] FUKUI, V. S. Determinação de metais pesados em águas superficiais e sedimentos na Bacia do Rio Piracicaba. **Revista Acadêmica da Faculdade Oswaldo Cruz**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 45-58, 2019.

[3] BUZZONI, H. A. **Galvanoplastia**. 2. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1991.

[4] **AMBSCIENCE ENGENHARIA**. O que é galvanoplastia e quais são seus efeitos ambientais? 07 ago. 2025.

[5] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Mérieux NutriSciences por ter nos permitido visitar seu laboratório e ver de perto os procedimentos de análises das amostras, ao Rogério Caldorin por nos explicar cada procedimento laboratorial e ao presidente da Remo Piracicaba, José Valdir, por nos acompanhar nessa visita.

As empresas Bluestone e Mérieux NutriSciences, em parceria com a associação Remo Piracicaba, que desenvolveram o projeto “Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Piracicaba” e nos permitiram a participação para nosso Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao nosso professor Eduardo Antedomenico junto de nosso professor e coordenador do curso Wagner Fernando Ferreira, que nos acompanharam e compartilharam de seus conhecimentos durante os três anos.

As pessoas que nos guiaram, enviaram os resultados por e-mail e ajudaram durante esse longo progresso: Igor Tosselo, Patrícia Ribeiro e Pedro Gonçalves.

# ANÁLISE DO EXCESSO DE FLUORETOS NA ÁGUA E NO SOLO DE REGIÕES AFASTADAS DE CENTROS URBANOS

Ana C. P. Turini<sup>1</sup>, Maria T. Fernandes<sup>1</sup>, Eduardo Antedomenico<sup>1</sup>, Wagner F. Ferreira<sup>1</sup>, Marcos Ceccato<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ETEC. Cel. Fernando Febeliano da Costa

<sup>2</sup>Mérieux NutriSciences

wagner.ferreira@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

O flúor, muito presente em solos e águas, é utilizado no Brasil desde a década de 1950 para prevenir cáries e promover a saúde pública [1]. Contudo, concentrações acima do recomendado podem causar fluorose dentária [2] e, em casos mais graves, fluorose esquelética [3].

Em regiões sem abastecimento público regular, onde se utilizam fontes não tratadas como poços e bicas, as concentrações de fluoreto são pouco monitoradas. Devido às suas propriedades químicas, o íon fluoreto tende a acumular-se no solo [2] e atingir águas subterrâneas, podendo representar riscos à saúde humana.

Esses níveis elevados podem resultar de processos naturais ou de atividades antrópicas, tornando fundamental compreender a relação entre o fluoreto no solo e nas águas subterrâneas para evitar que populações sem acesso a um sistema de abastecimento adequado sejam expostas a riscos.

## 2. METODOLOGIA

Foram coletadas amostras de água e solo em locais sem tratamento público, como poços, bicas e nascentes. As amostras de água foram armazenadas em frascos plásticos e mantidas sob refrigeração (abaixo de 6 °C) em coolers com gelo até a análise. Já as amostras de solo foram coletadas a até 10 metros das fontes de água, entre 15 e 20 cm de profundidade, utilizando frascos de vidro, também mantidos sob refrigeração.

As análises laboratoriais foram realizadas utilizando o método potenciométrico com eletrodo íon-específico de flúor, acoplado a um analisador de íons. Para garantir a precisão das leituras, foi utilizada a solução tampão TISAB II (que também continha o complexante CDTA), responsável por eliminar interferências de íons metálicos e estabilizar o pH.

As medições foram calibradas com padrões de fluoreto em diferentes concentrações (0,5 a 10,0 µg F/mL), construindo-se curvas de calibração para validar os resultados.

Além das análises físico-químicas, foram realizadas entrevistas com moradores locais para compreender o uso da água, verificando a frequência de abastecimento público e o consumo de água de poços.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

**Tabela 01** – Resultados obtidos para o teor de flúor nas amostras de água.

| Código | Resultados (mg/L) |
|--------|-------------------|
| SB     | <0,1              |
| SN     | <0,1              |
| PR 1   | 0,35              |
| PR 2   | 0,51              |
| LP     | 0,55              |
| AN     | 0,21              |
| AM     | 0,1               |

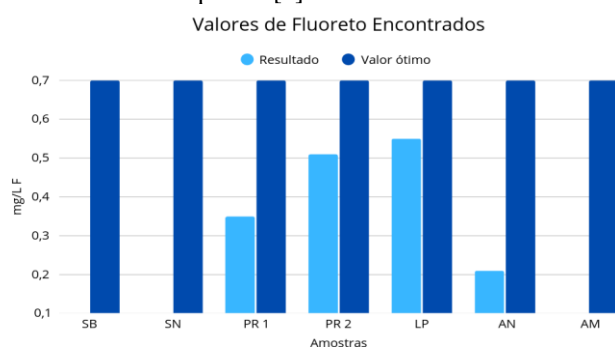
Fonte: Autoria própria.

**Tabela 02** – Resultados obtidos para o teor de flúor nas amostras de solo.

| Código | Resultados (mg/kg) | Sólidos totais (%p/p) |
|--------|--------------------|-----------------------|
| SB     | 6,35               | 77,8                  |
| SN     | 2,57               | 93,8                  |
| PR 1   | 2,79               | 86,4                  |
| PR 2   | 2,77               | 87,3                  |
| LP     | 11,1               | 54,2                  |
| AN     | <2                 | 92,7                  |
| AM     | <2                 | 78,0                  |

Fonte: Autoria própria.

**Gráfico 01** – Resultados obtidos comparados ao valor ótimo estabelecido por lei [4].



Fonte: Autoria própria.

As análises realizadas em amostras de águas não tratadas e solos de regiões afastadas de Piracicaba mostraram que nenhuma das fontes de água apresentou concentrações elevadas de fluoreto, indicando ausência de risco de fluorose.

Contudo, os valores encontrados ficaram abaixo dos níveis mínimos exigidos pela legislação.

Nos solos analisados, observou-se que a maioria das amostras (6 em 7) apresentou um padrão de correlação entre o teor de sólidos totais e a quantidade de fluoreto solúvel, quanto maior o teor de sólidos, menor a mobilidade e disponibilidade do fluoreto. Essa relação se deve à alta eletronegatividade do elemento, que o faz se associar a compostos sólidos, dificultando sua lixiviação para as águas subterrâneas.

A amostra LP destacou-se por apresentar as maiores concentrações de fluoreto tanto no solo quanto na água, sugerindo influência da composição do solo e do escoamento da água no transporte do íon. Ainda assim, é importante ressaltar que outros fatores ambientais e geológicos também afetam as concentrações de fluoreto, sendo necessário ampliar o número de amostras para confirmar essas relações com maior precisão.

#### 4. CONCLUSÕES

A pesquisa concluiu que nenhuma das áreas afastadas dos centros urbanos da região de Piracicaba apresentou altas concentrações de fluoreto, indicando que não há risco de fluorose para as populações que consomem essas águas. Contudo, os níveis de fluoreto encontrados ficaram abaixo dos valores mínimos exigidos por lei, o que pode aumentar a vulnerabilidade dessas populações ao desenvolvimento de cáries, devido à falta da proteção ideal conferida pelo flúor.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] FUNASA BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de fluoretação da água para consumo humano**. Brasília: FUNASA, 2012.
- [2] CURY, Jaime Aparecido. **Cariologia & fluoretos na odontologia: da pediatria à geriatria**. São Paulo: Santos Publicações, 2024.
- [3] LADEB, Mohamed Fethi *et al.* Fluorose esquelética: não perca o diagnóstico! **Radiologia Esquelética**, [S.I.], v. 48, n. 1, p. 345-357, 2019. DOI: 10.1007/s00256-019-03302-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00256-019-03302-0>. Acesso em: 06 ago. 2025.
- [4] BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde.

#### AGRADECIMENTOS

À empresa Mérieux NutriSciences pelo apoio nas análises, metodologia e esclarecimento de dúvidas. Estendemos a gratidão aos professores, especialmente a Márcia Regina Dal Medico, pela orientação acadêmica e pessoal. Agradecemos também aos familiares, pelo suporte logístico durante as coletas, e à Larissa Caroliny B. Benedito, junto aos alunos e professores da pós-graduação em Cariologia da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, pela colaboração na formulação do tema, nas referências e na redação do trabalho.

# CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS PROPRIEDADES DE SAPONIFICAÇÃO DO EXTRATO DA CASCA DO JUAZEIRO E COMPARAÇÃO COM XAMPUS INDUSTRIAIS

Amanda da Silva Barbosa<sup>1</sup>, Daniel Chagas de Assiz<sup>1</sup>, Danielle Lima Abreu<sup>1</sup>, Thayná Alves de Almeida<sup>1</sup>,

Orientador: Wagner Fernando Ferreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa

wagner.ferreira@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm incentivado a adoção de práticas sustentáveis, levando empresas de cosméticos e higiene pessoal a reduzirem o impacto ambiental de seus produtos [1].

Os surfactantes, que estão presentes em detergentes, sabões e itens farmacêuticos, chegam em grande quantidade às águas residuais das cidades e ao no meio ambiente, formando espuma que interfere na fotossíntese, reduz o oxigênio dissolvido e causa toxicidade a organismos vivos por penetrar suas membranas celulares [2] [3].

Como alternativa sustentável, as saponinas, que são surfactantes naturais, presentes na casca do juá apresentam boa formação de espuma, poder de limpeza, baixa toxicidade, biocompatibilidade e fácil degradação por microrganismos, sendo ótimas substitutas para surfactantes sintéticos [4].

A pesquisa busca verificar, de maneira detalhada, se essas saponinas naturais, que são compostos com propriedades surfactantes, conseguem desempenhar funções semelhantes ou até superiores às dos tensoativos sintéticos amplamente usados pela indústria cosmética [5].

Esses ingredientes industriais, apesar de eficientes, muitas vezes estão associados a impactos ambientais maiores e a potenciais irritações na pele e no couro cabeludo. Por isso, entender a capacidade de limpeza, a formação de espuma e o comportamento químico das saponinas de juá torna-se fundamental quando pensamos em alternativas mais naturais e sustentáveis [6].

## 2. METODOLOGIA

Para a prática do nosso TCC realizamos análises qualitativas e quantitativas no nosso xampu, e para criar uma base de dados comparativos, escolhemos outros dois xampus sendo um hidratante e o outro detox. Como análise qualitativa colocamos os três xampus na centrífuga, para criar uma situação de estresse como no transporte, para saber como o xampu vai reagir.

Para as análises quantitativas, realizamos testes de pH, espuma e viscosidade por exemplo para determinarmos se o poder de limpeza do xampu de juá é tão bom quanto os xampus industriais [7].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise físico-química e sensorial, conclui-se que o xampu natural produzido com o extrato da casca do juazeiro apresenta propriedades satisfatórias de espuma, pH e condutividade, além de boa estabilidade

e compatibilidade cutânea. Apesar da viscosidade reduzida, o desempenho geral foi comparável ao de produtos comerciais, demonstrando a viabilidade de sua utilização na indústria cosmética, já que os espessantes são mais ligados ao fator estético.

## 4. CONCLUSÕES

Para futuros estudos, indicamos ampliar a pesquisa com análises cutâneas por conta dos limites dos testes realizados, e também pesquisar mais a fundo modos de aumentar estabilidade a longo prazo, biodegradabilidade e aperfeiçoamento da viscosidade, assim consolidando a aplicação do extrato de juá como insumo cosmético em larga escala.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] MYERS, D. **Surfactant Science and Technology**. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2020.
- [2] DALTIM, D. **Tensoativos: Química, Propriedades e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.
- [3] SALAGER, J. L. **Surfactantes: Tipos y Usos**. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes, 2002.
- [4] MOREIRA, M. F. **Cinética de Secagem de Raspas da Entrecasca do Juazeiro**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – UFPB, João Pessoa, 2018.
- [5] SILVA, D. J. C. *et al.* **Produção de Detergente à Base de Extrato da Casca do Juazeiro (Ziziphus joazeiro Mart.)** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Química) – ETEC Irmã Agostina, São Paulo, 2014.
- [6] SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; ATHAYDE, M. L. Saponinas. *In: SIMÕES, C. M. et al. Farmacognosia: Da Planta ao Medicamento*. Ed. UFRGS/UFSC, 2001, p. 711-740.
- [7] 90% DOS Brasileiros afirmam que responsabilidade social corporativa influencia na opinião sobre empresas. **FITEC AMBIENTAL**, 21 ago. 2024.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos professores, por nesses três anos terem compartilhado conhecimentos, não apenas da área da química, mas também de suas vivências conosco. Especialmente Eduardo Antedomenico, André Luís Cera e a Joyce Ribeiro Rasera por terem cedido seu tempo e nos ajudado nas práticas finais.

# EFICIÊNCIA FERMENTATIVA DE LEVEDURAS EM USINAS FLEX: UMA ABORDAGEM COM MILHO E CANA DE AÇÚCAR

Camila Carvalho<sup>1</sup>, Eduarda V. Camargo<sup>1</sup>, Gabriela C. Ferreira<sup>1</sup>, Livia V. Moraes<sup>1</sup>, Raiane R. C. Guedes<sup>1</sup>, Prof<sup>a</sup>. Dra. Karina C. Rebelo<sup>1</sup>, Prof<sup>a</sup>. Dra. Daniela D. Nascimento<sup>1</sup>, Dra. Silene L. Paulillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan

<sup>2</sup>FERMENTEC

f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de etanol de milho começou a ganhar espaço no Brasil nos últimos anos, principalmente como alternativa para suprir a demanda durante a entressafra da cana-de-açúcar, que sempre foi a principal matéria-prima para o etanol no Brasil. Como o milho pode ser armazenado, isto permite que as usinas continuem ativas o ano todo.

A primeira usina a produzir etanol de milho no Brasil foi a Usimat em 2012, com tecnologia flex (utiliza tanto cana quanto milho) [1]. Em seguida surgiram usinas como a FS Bioenergia, a primeira a produzir etanol 100% a partir do milho (full) [2]. Atualmente o modelo full flex — que processa cana e milho ao mesmo tempo, de forma independente — está aumentando gradativamente e se tornando tendência no setor, contribuindo para evitar a parada das usinas durante a entressafra.

Nas usinas flex, a cana-de-açúcar é processada principalmente durante a safra, moída para extração do caldo e o caldo processado e destilado para a produção de etanol. Já o milho é processado na entressafra, passando por moagem e hidrólise enzimática para transformar o amido em açúcares fermentáveis. Isso permite que as usinas operem o ano inteiro, aumentando a eficiência e aproveitando-se melhor a estrutura industrial. Além disso, o milho gera subprodutos como os “Distillers Dried Grains” (DDG) e o óleo, agregando valor à produção e reduzindo o desperdício.

Mesmo representando uma pequena parte da produção total de etanol no país, a produção de etanol de milho está aumentando rápido. Só na safra 2020/2021 foram produzidos 2,7 bilhões de litros, um aumento de mais de 60% em relação ao ano anterior [3]. Os programas de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) estão desenvolvendo cultivares com maior rendimento, mostrando que essa produção tem potencial.

Ademais o setor tem atraído investimentos por conta da tecnologia flex e full flex, que tornam a produção mais eficiente e lucrativa. A produção de etanol de milho tem crescido de forma significativa nos últimos anos e representa aproximadamente 9% da produção total de etanol no Brasil. Com o avanço das pesquisas, melhorias nos genótipos do milho e maior produtividade, essa porcentagem tende a aumentar, movimentando a economia e gerando mais empregos, principalmente nas regiões produtoras [4].

Outro fator de interesse nos estudos sobre o etanol de milho é o aproveitamento completo dos grãos e seus subprodutos. Nos processos de moagem seca e úmida, além do próprio etanol, ainda se obtêm farinha, óleo, amido, farelos para ração e outros produtos com valor comercial. Isso gera

mais lucro para a indústria e menos desperdício [4]. Diante disso, investir em pesquisa sobre o etanol de milho significa não só pensar em energia limpa, mas também em aproveitamento total dos recursos e fortalecimento da cadeia produtiva.

Nesse contexto de otimização e maior aproveitamento dos recursos em usinas flex, o estudo da performance do agente biológico, a levedura, torna-se fundamental. O desafio central é garantir a máxima eficiência da etapa fermentativa durante todo o ano, exigindo que o microrganismo seja robusto para processar tanto o mosto da cana quanto o mosto complexo do milho.

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é amplamente utilizada na produção de etanol devido à sua eficiência em fermentar glicose. Em usinas flex, no entanto, ela deve ser capaz de performar de maneira robusta em dois ambientes distintos: o mosto de cana, rico em açúcares prontamente fermentáveis (sacarose, glicose), e o mosto de milho, cuja matéria-prima é rica em amido. No caso do milho, o desafio é maior, sendo necessário quebrar esse polímero (amido) em açúcares simples (glicose) por meio da hidrólise enzimática, que envolve duas etapas principais: a liquefação, com uso da  $\alpha$ -amilase, e a sacarificação com a glicoamilase, que libera a glicose. Essa necessidade impõe condições de processo e composição de mosto diferentes, as quais podem afetar diretamente a viabilidade e a atividade da levedura.

A fermentação pode ocorrer por dois processos: no SHF (hidrólise e fermentação separadas) os açúcares são liberados antes da adição da levedura, permitindo maior controle, mas com maior tempo de processo; já no SSF (sacarificação e fermentação simultâneas) as enzimas e a levedura atuam ao mesmo tempo no mesmo reator, acelerando a produção e reduzindo custos [4]. A levedura converte rapidamente a glicose em etanol quando o meio está com pH e temperatura ideais, otimizando a eficiência do processo [5].

Algumas leveduras se destacam como a *Thermosacc*® XL, uma cepa de *Saccharomyces cerevisiae* desenvolvida pela Lallemand Biofuels & Distilled Spirits para fermentações de etanol em condições industriais rigorosas. Ela se destaca pela alta tolerância a temperaturas elevadas, resistência ao etanol e rápido início de fermentação, o que resulta em maior eficiência e produtividade nos processos industriais. Além disso é amplamente utilizada em usinas que buscam estabilidade e rendimento consistentes, mesmo em mostos com alta osmolaridade [6].

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* PE-2 (também chamada “Pedra 2”) é amplamente reconhecida no setor sucroalcooleiro brasileiro por sua robustez, adaptabilidade e

eficiência em processos de fermentação industrial. Sua linhagem foi originariamente selecionada na Usina da Pedra, em Serrana (SP) e hoje representa parcela significativa da produção de etanol no país [7]. Essa levedura destaca-se por sua capacidade de tolerar condições adversas como altas concentrações de etanol, variações de pH e osmolaridade, o que também a torna amplamente utilizada [8].

**2. METODOLOGIA**

Realizou-se o processo de produção de bioetanol a partir da fermentação conjunta dos mostos de milho e de cana-de-açúcar, na proporção de 50:50. Antes da fermentação, os mostos foram previamente misturados e avaliados quanto ao pH e teor de sólidos solúveis (Brix), determinado com o auxílio de um refratômetro digital.

O mosto de milho foi fornecido pela empresa X e hidrolisado por via industrial, enquanto o mosto de cana foi preparado a partir de melaço cedido pela empresa parceira Fermentec. Para evitar contaminações durante o estudo, ambos os mostos foram autoclavados previamente.

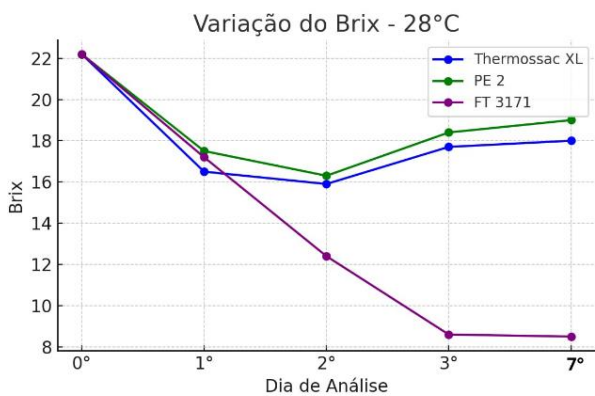
As variáveis experimentais analisadas na fermentação conjunta foram o tipo de levedura, *Thermossac XL*, *Pedra-2* e *FT-3171* (provenientes do banco de leveduras da Fermentec); a temperatura de fermentação 28°C, 32°C e 37°C; e o tempo de fermentação, com coletas realizadas após 24, 48, 72 e 168 horas (sete dias).

A fermentação também foi conduzida de forma separada com os mostos de milho e cana-de-açúcar. Para ambos os mostos foram verificados previamente o pH e o Brix. As variáveis avaliadas nesses ensaios individuais foram as mesmas — tipo de levedura, temperatura e tempo — com amostragens realizadas após 24, 48 e 72 horas.

**3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

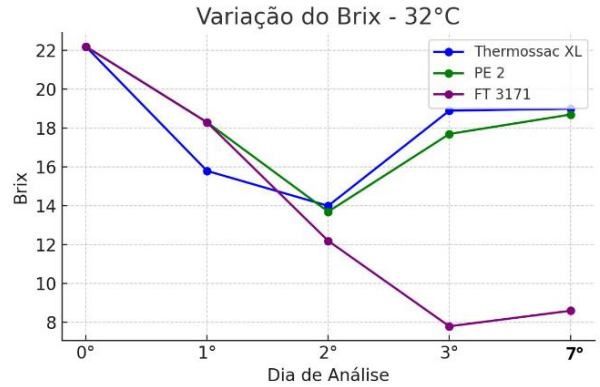
Os resultados da fermentação conjunta dos mostos de milho e cana-de-açúcar estão apresentados nas Figuras 1 a 3.

**Figura 1** – Variação do teor de Brix do mosto resultante da mistura de cana e milho a 28 °C



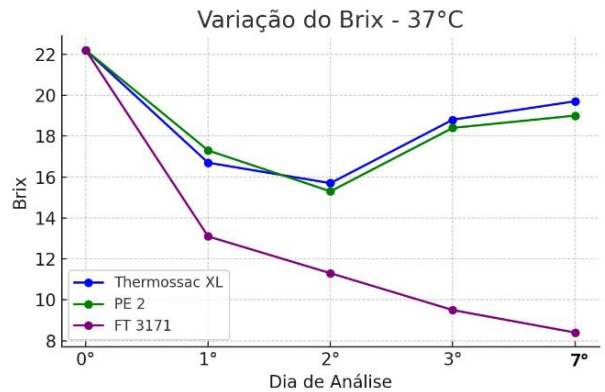
Fonte: Elaboração Própria (2025).

**Figura 2** – Variação do teor de Brix do mosto resultante da mistura de cana e milho a 32 °C



Fonte: Elaboração Própria (2025).

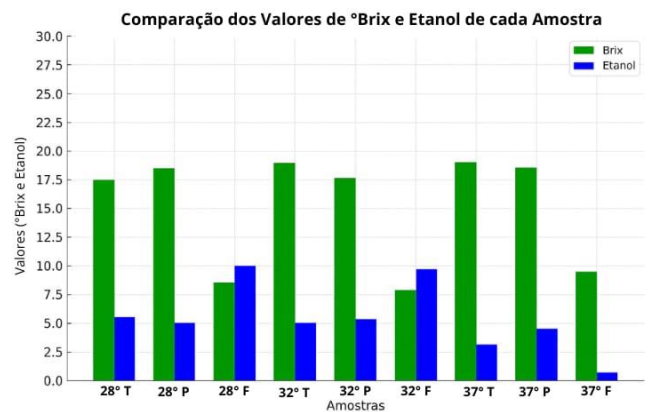
**Figura 3** – Variação do teor de Brix do mosto resultante da mistura de cana e milho a 37 °C



Fonte: Elaboração Própria (2025).

Com base nos resultados obtidos, a levedura FT-3171 apresentou o melhor desempenho, sendo 32°C a temperatura mais eficiente para a fermentação. O teor de etanol dos mostos foi avaliado no terceiro dia de fermentação (72 horas), período em que se observou o maior declínio nas leituras de Brix, indicando a progressão da conversão de açúcares em álcool (Figuras 1, 2 e 3).

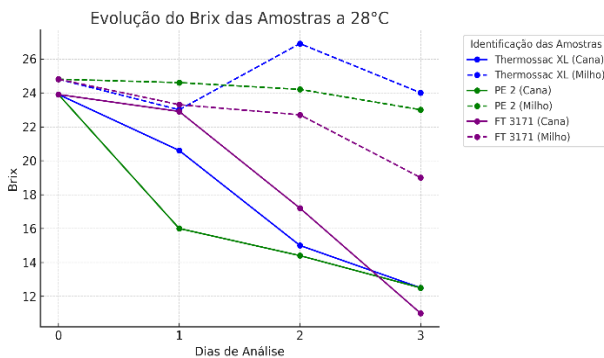
**Figura 4** – Comparação entre o teor de etanol e o Brix de cada amostra



Fonte: Elaboração Própria (2025).

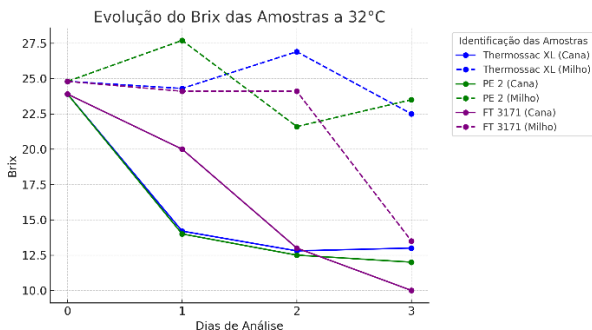
A partir da Figura 4, pode-se afirmar que as temperaturas de 32 °C e 28 °C, associadas à levedura *FT-3171*, apresentaram desempenho superior. Em 32°C (32F) há baixo valor de Brix e alto teor de etanol, indicando maior eficiência fermentativa. Já em 28°C (28F), o comportamento é semelhante, porém ligeiramente inferior ao de 32°C, sendo correto dizer que foi comparável. As demais leveduras apresentaram resultados semelhantes entre si em todas as temperaturas testadas, indicando que 37°C não é condição favorável para o processo de fermentação nas condições experimentais adotadas.

**Figura 5** – Variação das leituras de Brix durante a fermentação dos mostos de cana e milho na temperatura de 28°C



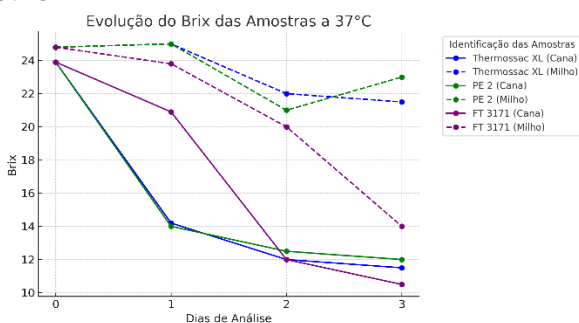
Fonte: Elaboração Própria (2025).

**Figura 6** – Variação das leituras de Brix durante a fermentação dos mostos de cana e milho na temperatura de 32°C



Fonte: Elaboração Própria (2025).

**Figura 7** – Variação das leituras de Brix durante a fermentação dos mostos de cana e milho na temperatura de 37°C



Fonte: Elaboração Própria (2025).

Identificamos que a levedura *FT-3171* continua apresentando o melhor desempenho para a produção de etanol, e que a temperatura de 32°C também se mantém como a mais eficiente, com base nas medições de Brix.

**Tabela 1** – Resultados da análise do mosto de milho

| Identificação das Amostras | Concentração    |               |                  |             |                        |
|----------------------------|-----------------|---------------|------------------|-------------|------------------------|
|                            | Ác. Lático %w/v | Glicerol %w/v | Ác. Acético %w/v | Etanol %w/v | Açúcar Total (AT) %w/v |
| M 28-T                     | 0,70            | 0,16          | 0,19             | 1,81        | 18,38                  |
| M 28-P                     | 0,64            | 0,21          | 0,21             | 1,53        | 19,06                  |
| M 28-F                     | 0,77            | 0,15          | 0,04             | 3,67        | 10,35                  |
| M 32-T                     | 0,59            | 0,14          | 0,09             | 1,17        | 16,72                  |
| M 32-P                     | 0,68            | 0,21          | 0,17             | 0,43        | 18,67                  |
| M 32-F                     | 0,72            | 0,18          | 0,07             | 7,06        | 7,33                   |
| M 37-T                     | 0,49            | 0,10          | 0,12             | 2,02        | 15,97                  |
| M 37-P                     | 0,58            | 0,19          | 0,15             | 1,21        | 18,24                  |
| M 37-F                     | 0,73            | 0,17          | 0,06             | 6,82        | 9,34                   |

Fonte: Elaboração Própria (2025).

**Tabela 2** – Resultados da análise do mosto de cana.

| Identificação das Amostras | Concentração    |               |                  |             |                        |
|----------------------------|-----------------|---------------|------------------|-------------|------------------------|
|                            | Ác. Lático %w/v | Glicerol %w/v | Ác. Acético %w/v | Etanol %w/v | Açúcar Total (AT) %w/v |
| C 28-T                     | 0,07            | 1,12          | 0,28             | 8,21        | 0,03                   |
| C 28-P                     | 0,07            | 1,06          | 0,25             | 7,94        | 0,03                   |
| C 28-F                     | 0,10            | 0,56          | 0,07             | 7,59        | 0,65                   |
| C 32-T                     | 0,07            | 1,18          | 0,31             | 6,62        | 0,02                   |
| C 32-P                     | 0,07            | 1,01          | 0,39             | 7,00        | 0,02                   |
| C 32-F                     | 0,10            | 0,56          | 0,12             | 7,25        | 0,05                   |
| C 37-T                     | 0,07            | 1,15          | 0,31             | 7,87        | 0,02                   |
| C 37-P                     | 0,07            | 1,01          | 0,33             | 7,67        | 0,02                   |
| C 37-F                     | 0,09            | 0,55          | 0,10             | 8,08        | 0,03                   |

Fonte: Elaboração Própria (2025).

Com base nas tabelas apresentadas, observa-se que a levedura *FT-3171* foi a que apresentou o melhor desempenho entre as amostras testadas. Os resultados demonstraram uma considerável variabilidade em função da temperatura. Embora a temperatura de 32°C tenha se mostrado mais eficiente, essa condição não se manteve de forma consistente ao longo dos experimentos.

Em relação ao mosto de milho, verificou-se que a fermentação não foi bem-sucedida. De acordo com Eduardo Amorim, responsável pela análise das amostras, foi detectada uma elevada concentração de oligossacarídeos. A presença expressiva desses compostos indica que a etapa de sacarificação não foi suficientemente eficiente, o que explica o aumento do Brix observado durante a fermentação. Isso ocorre porque a degradação dos açúcares iniciou-se durante esse estágio, refletindo a limitação da conversão dos polissacarídeos em açúcares fermentescíveis.

#### 4. CONCLUSÕES

Concluindo, por mais que o mosto de milho provavelmente não estivesse totalmente sacarificado, comprovamos a viabilidade da fermentação simultânea dos mostos de milho e cana. Observamos que a levedura da Fermentec, a *FT-3171*, demonstrou ser extremamente eficiente tanto para o mosto de milho quanto para o mosto de cana e, independentemente da temperatura, sobressaiu-se às outras leveduras testadas.

Para trabalhos futuros, recomenda-se realizar a hidrólise em laboratório, a fim de obter resultados mais precisos. Além disso, sugere-se investigar se a fermentação conjunta com a sacarificação poderia aumentar os

rendimentos, uma vez que, segundo a literatura e testes preliminares não incluídos neste estudo, espera-se que o rendimento seja superior nessas condições.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] PORTAL DO AGRONEGÓCIO. Primeira usina flex já funciona em Mato Grosso. **Portal do Agronegócio**, 2012. Disponível em: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/energias-renovaveis/etanol/noticias/primeira-usina-flex-j-funciona-em-mato-grosso-27358>. Acesso em: 17 set. 2025.
- [2] FS BIOENERGIA. Quem somos. **FS**, 2023. Disponível em: <https://www.fs.agr.br>. Acesso em: 17 set. 2025.
- [3] CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **2º Levantamento da Safra de Cana-de-açúcar 2020/21**. Brasília: Conab, 2020. Disponível em: [https://cast.conab.gov.br/post/2020-08-21\\_2\\_lev\\_cana\\_conab](https://cast.conab.gov.br/post/2020-08-21_2_lev_cana_conab). Acesso em: 17 set. 2025.
- [4] CANAL BIOENERGIA. FS Bioenergia investe R\$ 1 bi em nova usina de etanol de milho no MT. **Jornal da Bioenergia**, 2023. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/fs-bioenergia-investe-r-1-bi-em-nova-usina-de-etanol-de-milho-no-mt>. Acesso em: 17 set. 2025.
- [5] SILVA, Érica da. **Produção de etanol de milho via sacarificação e fermentação simultânea**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Aracruz, Aracruz, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/992/TCC\\_Produ%C3%A7%C3%A3o\\_Etanol\\_Milho\\_Sacarifica%C3%A7%C3%A3o\\_Fermenta%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=1](https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/992/TCC_Produ%C3%A7%C3%A3o_Etanol_Milho_Sacarifica%C3%A7%C3%A3o_Fermenta%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=1). Acesso em: 9 abr. 2025.
- [6] LALLEMAND BIOFUELS & DISTILLED SPIRITS. **Thermosacc® XL** – Technical Data Sheet. Montreal, 2024. Disponível em: [https://www.lbds.com/wp-content/uploads/2024/06/LBDS\\_TDS\\_Thermosacc-XL\\_English\\_V2.06272024.pdf](https://www.lbds.com/wp-content/uploads/2024/06/LBDS_TDS_Thermosacc-XL_English_V2.06272024.pdf). Acesso em: 18 set. 2025.
- [7] CANAL RURAL. Pesquisa aponta oportunidades para o etanol com levedura mutante. **Canal Rural**, 23 abr. 2014. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/pesquisa-aponta-oportunidades-para-etanol-levedura-mutante-43702/>. Acesso em: 18 set. 2025.
- [8] BASSO, Luiz Carlos; LOPES, Maria Laura. Yeast biotechnology applied to the Brazilian ethanol production process. *In*: PANDEY, Ashok (ed.). **Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels**. 2. ed. Cambridge: Academic Press, 2019. p. 327-346.

## AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos sinceros agradecimentos à Prof.<sup>a</sup> Daniela Defavari do Nascimento pela orientação, disponibilidade e contribuições essenciais ao desenvolvimento deste projeto, bem como à Prof.<sup>a</sup> Karina C. Rebelo pela coorientação e pelas valiosas sugestões que enriqueceram este trabalho.

Agradecemos também à mentora Silene Paulillo pelo constante apoio, acompanhamento e incentivo durante todas as etapas da pesquisa.

Estendemos nossos agradecimentos à FATEC, pela infraestrutura disponibilizada e acesso aos equipamentos necessários para a execução dos experimentos.

À Fermentec, pela realização das análises das amostras e fornecimento de insumos indispensáveis, como a levedura e as enzimas utilizadas.

Por fim, agradecemos ao Glauco e à Gisele pela colaboração na obtenção do mosto de milho, fundamental para a condução dos ensaios realizados.

# Óleos - Beleza que nasce da Economia Circular

Aline Domingues dos Santos<sup>1</sup>, Julia Scotton Pavan<sup>1</sup>, Maressa da Costa Mascarenhas<sup>1</sup>, Profa. Dra. Karina Cenciani Rebelo<sup>1</sup>, Profa. Dra. Gisele Gonçalves Bortoleto<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan  
 f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil produziu cerca de 6,3 bilhões de litros de etanol de milho em 2023/24 e deve aumentar o volume para 9,5 bilhões de litros durante a atual temporada podendo chegar em 16 bilhões de litros até 2032 [1].

Considerando que para cada tonelada de milho pode se produzir mais de 400 L de etanol e gerar 18 L de óleo como subproduto, a estimativa é que grandes volumes desse material esteja disponível no mercado [2].

A reutilização do óleo de milho, representa uma estratégia essencial para o fortalecimento da sustentabilidade nos setores agrícola e energético, pois pode transformar um resíduo ou subproduto em um recurso de elevado valor econômico e ambiental. Essa prática promove a redução de desperdícios, contribui para a eficiência dos processos produtivos e favorece a consolidação da economia circular, uma vez que reintegra ao ciclo produtivo um insumo que, de outra forma, poderia ser descartado ou mal aproveitado [3]. Além de sua relevância na produção de biodiesel e em diferentes aplicações na indústria alimentícia, o óleo de milho pode ganhar destaque na área cosmética, especialmente em formulações de cremes hidratantes corporais, devido às suas propriedades emolientes, nutritivas e antioxidantes [4].

A composição do óleo é rica em ácidos graxos essenciais, como o ácido linoleico, que atuam na manutenção da hidratação cutânea por meio da formação de uma barreira protetora capaz de prevenir a perda de umidade, preservando, assim, a integridade da pele. Outro fator de relevância é sua leveza e rápida absorção, características que favorecem uma aplicação agradável e não oleosa, atendendo às exigências de consumidores que buscam produtos eficientes, práticos e confortáveis no uso diário. A presença de antioxidantes, por sua vez, amplia a eficácia cosmética ao combater a ação dos radicais livres, retardando processos oxidativos e promovendo maior vitalidade à pele [5]. Ainda, uma das principais tendências do mercado de cosméticos é a formulação de produtos com ingredientes naturais e biodegradáveis. Óleos botânicos, extratos de plantas e ativos de origem natural estão substituindo os ingredientes sintéticos.

Nesse contexto, o presente projeto tem como finalidade desenvolver um creme hidratante corporal que seja, ao mesmo tempo, eficaz na promoção da saúde cutânea e sustentável, ao utilizar o óleo de milho como ingrediente principal. O processo de produção prevê a purificação desse óleo, assegurando a preservação de seus ácidos graxos e da vitamina E, que potencializam suas propriedades antioxidantes e hidratantes [6]. A formulação proposta visa não apenas oferecer benefícios funcionais à pele, mas também reafirmar o compromisso com a sustentabilidade, uma vez que emprega um subproduto da indústria, reduzindo desperdícios e estimulando práticas alinhadas à economia circular.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia para realizar a purificação e classificação do óleo se baseia no artigo da referência [7]. Os ensaios foram realizados com o óleo vegetal comercial, vendido em supermercados comuns, com o propósito de se chegar ao produto, com o óleo reutilizado.

A primeira etapa consistiu na desodorização do óleo, que foi realizada com a fibra de coco. Para tal, adicionou-se 80 gramas de fibra de coco em 300 mL do óleo, e essa mistura foi deixada em descanso por aproximadamente 12 horas. Após isso, realizou a filtração com o equipamento bomba a vácuo, etapa que durou aproximadamente 15 minutos.

O óleo desodorizado foi acondicionado em frascos de vidro âmbar, que oferecem proteção contra a luz e garantem a preservação de suas características.

Avaliou-se o índice de acidez, que indica a presença de ácidos graxos livres, fornecendo informações sobre a pureza, o frescor e a suscetibilidade à oxidação e rancificação. Para tal, foi pesada uma amostra de aproximadamente 1 g de óleo, que foi transferida para um erlenmeyer seco. Em seguida, adicionaram-se cerca de 25 mL de etanol neutro e algumas gotas do indicador fenolftaleína, responsável por sinalizar o ponto final da titulação. A mistura foi aquecida levemente para garantir melhor solubilização do óleo, evitando a fervura. Após o preparo, iniciou-se a titulação com solução de KOH 0,1 N, adicionada lentamente sob agitação até o aparecimento de uma coloração rosada persistente por 30 segundos, indicando o ponto de neutralização dos ácidos graxos livres. O volume de KOH gasto foi então anotado para o cálculo do índice de acidez.

A metodologia para a produção do creme hidratante consistiu em executar a emulsão de duas fases e a adição da essência, adaptada conforme literaturas [8] e [9].

Após a produção do hidratante foi realizada uma análise sensorial do mesmo, usando uma escala hedônica nível 7, com duas amostras, a saber, amostra A: sem óleo de milho e B: contendo o óleo de milho desodorizado. A análise foi realizada no laboratório de microbiologia da Fatec de Piracicaba, preparadas com espaços individuais para teste dos produtos na pele. Os respondentes avaliaram as amostras voluntariamente, usando um *forms* disponibilizado via QRcode nas bancadas de prova.

A Figura 01 apresenta o espaço individual da bancada pronta com as duas amostras de prova, A e B.

**Figura 01:** Amostra da análise sensorial.



Fonte: Autoral.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### Desodorização do óleo

Iniciou-se com a remoção do odor do óleo, utilizando a fibra do coco seca, pois ela absorve todo os odores presentes sem alterar a composição, para torná-lo mais acessível, leve e compatível com a pele. A Figura 02 apresenta o processo de desodorização.

**Figura 02** – Amostra do óleo com a fibra de coco.



Fonte: Autoral.

O óleo acima, após a filtração a vácuo, se apresentou límpido e sem os odores intrínsecos ao óleo de milho comercial, indicando que a fibra de coco pode ser um bom adsorvente de compostos orgânicos voláteis de odor.

#### Análise da Acidez do Óleo

Após a desodorização com a fibra de coco, realizou-se o índice de acidez, que permite avaliar o grau de degradação do óleo pela presença de ácidos graxos livres. Para o cálculo, utilizou-se a Equação abaixo,

$$IA = \frac{V \times N \times 56,1}{m}$$

Onde:

V = volume de KOH (3 ml)

N = normalidade da solução de KOH (0,1 N)

m = massa da amostra (1,366 g)

De acordo com o resultado, o índice de acidez obtido para o óleo foi de 0,8187 mg KOH/g. Esse valor encontra-se ligeiramente acima do intervalo considerado ideal para óleos comerciais empregados em formulações cosméticas, que varia de 0,1 a 0,5 mg KOH/g. No entanto, ainda se enquadra dentro dos limites aceitáveis para óleos de uso industrial destinados à fabricação de cosméticos, os quais podem apresentar índices de acidez de até aproximadamente 2,0 mg KOH/g. Esse resultado indica uma presença moderada de ácidos graxos livres, possivelmente decorrente de reações de hidrólise parcial dos triacilgliceróis durante o armazenamento ou processamento do óleo. Embora o valor obtido não comprometa o uso do cosmético, pode ser necessária uma etapa adicional de refino ou neutralização para reduzir a acidez, visando melhorar a qualidade final do cosmético.

#### Formulação do hidratante

Para a formulação do hidratante corporal selecionou-se uma essência compatível que remetesse algo de forma mais natural, e para tal, foi empregada a essência de flor de cupuaçu. Seguindo a formulação conforme a tabela 01:

**Tabela 01** – Formulação do creme hidratante.

| Ingredientes     | Quantidade (%) |
|------------------|----------------|
| Acido estearico  | 3              |
| Cutina MD        | 7              |
| Oleo de milho    | 3              |
| Agua destilada   | q.s.q 100      |
| Trietanolamina   | 0,8            |
| Propileno glicol | 2              |
| Glicerina        | 2              |
| Nipagin M        | 0,2            |
| Essência         | 0,1            |

Fonte: Autoral.

O aspecto do produto final pode ser observado na Figura 03.

**Figura 03:** Hidratante Éos, produzido.



Fonte: Autoral.

#### Análise Sensorial

A Tabela 02 abaixo resume os resultados obtidos com os primeiros números da escala de 7, ou seja, 1, 2 e 3, que correspondem ao “gostei muitíssimo”, “gostei muito” e “gostei um pouco”, respectivamente.

**Tabela 02:** Resultados da análise sensorial do creme hidratante Eos.

| Atributos Avaliados       | Gostei muitíssimo (%) | Gostei muito (%) | Gostei um pouco(%) |
|---------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| Aparência                 | 21,1                  | 47,4             | 28,9               |
| Textura ao toque          | 21,1                  | 50               | 23,7               |
| Hidratação percebida      | 18,4                  | 36,8             | 28,9               |
| Absorção                  | 18,4                  | 39,5             | 26,3               |
| Facilidade de espalhar    | 15,8                  | 44,7             | 28,9               |
| Apreciação geral          | 15,8                  | 36,8             | 36,8               |
| Conforto na pele          | 13,2                  | 31,6             | 36,8               |
| Sensação após a aplicação | 5,3                   | 34,2             | 26,3               |
| Aroma/Odor                | 2,6                   | 23,7             | 31,6               |

Fonte: Autoral.

A partir dos resultados acima é possível observar que o creme hidratante Éos, produzido com óleo de milho desodorizado agradou bastante a maior parte dos respondentes, considerando a maioria dos atributos

avaliados. Odor e aroma foi o único atributo que não atendeu as expectativas, conforme o esperado, embora ainda tenha sido classificado dentro do “gostei” e não do desgostei.

#### 4. CONCLUSÕES

O projeto teve como propósito o aproveitamento do óleo de milho proveniente da indústria do etanol como matéria-prima sustentável para aplicação cosmética, reforçando os princípios da economia circular e do uso racional de subprodutos industriais. Entretanto, devido à indisponibilidade do óleo bruto industrial durante o desenvolvimento experimental, as etapas práticas foram conduzidas utilizando óleo de milho comercial, possibilitando a produção de um protótipo funcional e a validação da metodologia proposta.

Os resultados demonstraram a viabilidade do processo, contemplando a purificação, a desodorização e a incorporação do óleo na formulação cosmética. O creme hidratante obtido apresentou estabilidade, homogeneidade e características sensoriais adequadas. A presença natural de ácidos graxos essenciais e antioxidantes reforçou sua capacidade de promover hidratação, proteção e nutrição cutânea, alinhando funcionalidade e segurança para uso. Além dos benefícios técnicos, o estudo evidencia o valor ambiental e econômico dessa abordagem, uma vez que o reaproveitamento do óleo industrial contribui para a redução de resíduos, a mitigação de impactos ambientais e promove práticas sustentáveis nos setores agrícola e cosmético. Assim, o protótipo obtido com óleo de milho comercial representa um passo inicial consistente, estabelecendo bases sólidas para a próxima etapa do projeto, que consiste na aplicação direta do óleo industrial bruto purificado, com a finalidade de validar o desempenho, comparar propriedades e confirmar sua viabilidade em escala produtiva.

Dessa forma, o estudo cumpre seu propósito acadêmico ao demonstrar a aplicabilidade da metodologia e abrir caminho para pesquisas futuras, que incluam testes instrumentais, avaliações dermatológicas e validação mercadológica, consolidando a proposta como uma alternativa inovadora, sustentável e alinhada às demandas por produtos ecologicamente responsáveis e tecnologicamente eficientes.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] FORBES. Produção de etanol de milho no Brasil deve quase dobrar até 2032, diz Citi. **Forbes Agro**, 2025. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2025/03/producao-de-etanol-de-milho-no-brasil-deve-quase-dobrar-ate-2032-diz-citi/>. Acesso em: 08 out. 2025.
- [2] AGROINOVADORES. Etanol de milho versus etanol de cana. **Agroinovadores**, 2020. Disponível em: <https://agro.genica.com.br/2020/08/14/etanol-de-cana-vs-etanol-de-milho>. Acesso em: 08 out. 2025.
- [3] CNPEM. Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais. Disponível em: <https://cnpem.br/>. Acesso em: 08 out. 2025.

[4] ÓLEO DE MILHO. Informações sobre o óleo de milho e seus benefícios. Disponível em: <https://oleodemilho.com.br/>. Acesso em: 08 out. 2025.

[5] TULIPA COSMÉTICOS. Tulipa Cosméticos. Disponível em: <https://tulipacosmeticos.com.br/>. Acesso em: 08 out. 2025.

[6] IDEA ONLINE. Milho invade as indústrias de produção de etanol. Disponível em: <http://www.ideaonline.com.br/milho-invade-as-industrias-de-producao-de-etanol>. Acesso em: 29 mar. 2025.

[7] NASCIMENTO, Marcelo Rodrigues do; NÓBREGA, Vitória de Oliveira; OLIVEIRA, Andrey. Purificação e caracterização de óleos residuais de frituras domésticas visando reaproveitamento. In: CONGRESSO NACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 2018, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50819>. Acesso em: 29 mar. 2025

[8] UNIVATES. Universidade do Vale do Taquari – **Univates**. Disponível em: <https://www.univates.br/>. Acesso em: 08 out. 2025.

[9] VENÂNCIO, J. **Tecnologia dos Processos Industriais II – TPI II**. Centro Paula Souza: São Paulo, 2020. 65 p.

#### AGRADECIMENTOS

A instituição Fatec Dep. Roque Trevisan pela oportunidade e estrutura oferecida para o desenvolvimento desse projeto e ao Prof. Josinei Venâncio pelo apoio técnico durante a formulação do creme.

# ESTUDO DA VITALIDADE DE LEVEDURAS E EFICIÊNCIA FERMENTATIVA

*Bruna Christofoletti<sup>1</sup>, Brunno A. G. Paschoal<sup>1</sup>, Felipe Ribeiro<sup>1</sup>, Giovana B. G. Peres<sup>1</sup>, Prof. Dra. Cristine do C. S. B. de Moraes<sup>1</sup>, Prof. Dra. Daniela D. do Nascimento<sup>1</sup>, Dra. Maria Olívia C. Masiero<sup>2</sup>, Eng. Glauco M. de Mello Junior<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan

<sup>2</sup>LIEVITO BIOTECNOLOGIA

<sup>3</sup>SOLENIS

f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as mudanças climáticas afetam diretamente o setor agrícola, provocando degradação do solo, comprometendo a qualidade da matéria-prima e exigindo o deslocamento das áreas de cultivo. Tais alterações geram incertezas, reduzem a produtividade e impõem aos agricultores, e às próprias plantas, a necessidade de adaptação às novas condições ambientais [1]. No contexto do setor sucroalcooleiro, esses efeitos são especialmente perceptíveis na redução prevista da produção e produtividade da cana-de-açúcar [2]. Diante desse cenário, o setor sucroenergético enfrenta crescente pressão para adotar práticas mais sustentáveis, capazes de reduzir impactos ambientais sem comprometer a competitividade econômica [3].

Entre as alternativas tecnológicas promissoras destaca-se a fermentação *Very High Gravity* (VHG), considerada uma estratégia inovadora por possibilitar a redução de consumo água e 60% do volume de vinhaça, além de dobrar a geração de etanol [4]. Essa tecnologia baseia-se na utilização de mostos com altas concentrações de açúcares, o que confere maior eficiência e competitividade às usinas de cana-de-açúcar. Atualmente, a maioria das unidades produtoras adota misturas de caldo de cana e melaço (subproduto da fabricação de açúcar) em proporções variadas [5]. No entanto, a elevada concentração de sólidos solúveis presente no melaço constitui um desafio para as fermentações convencionais, uma vez que exigem altas diluições do mosto. Desta forma, a fermentação VHG surge como solução, pois as elevadas concentrações de açúcares correspondem à condição desejada para o processo.

A implementação dessa tecnologia, contudo, envolve desafios significativos, como a necessidade de adaptação das leveduras, o controle rigoroso do processo fermentativo em altas concentrações e a suplementação nutricional adequada. Durante a fermentação alcoólica, as leveduras são os principais microrganismos responsáveis pela conversão dos açúcares do mosto em etanol ( $C_2H_6O$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Estas, realizam o metabolismo fermentativo na ausência de oxigênio, com o objetivo de gerar energia em forma de ATP [6]. Assim, contrariamente ao senso comum, o etanol não é o produto final desejado pela levedura, mas sim um subproduto do seu metabolismo, resultante da necessidade de obtenção de energia para manter funções fisiológicas essenciais, como absorção, excreção, crescimento e multiplicação celular [7].

Portanto, mesmo nas fermentações convencionais, com mostos de caldo de cana-de-açúcar em concentrações usuais de 18–25 °Brix [8], já se observam situações de estresse celular das leveduras. Por esse motivo, os processos industriais de fermentação devem ser continuamente monitorizados e ajustados, visto que o estresse celular pode reduzir a produtividade e comprometer as taxas de conversão de etanol. Em fermentações VHG, que operam com concentrações superiores a 30 °Brix, esse estresse é intensificado pela elevada pressão osmótica do meio, afetando a estabilidade das células de levedura e a atividade enzimática [9]. Desta forma, o sucesso dessa tecnologia depende do desenvolvimento de cepas capazes de atuar eficientemente em altas concentrações de açúcares, o que requer adequada adaptação metabólica [10].

Neste contexto, como parâmetro de monitorização dos processos fermentativos, especialmente diante do estresse celular, destaca-se o conceito de vitalidade. A vitalidade relaciona-se com a atividade metabólica dos micro-organismos, refletindo a sua condição fisiológica e a capacidade de lidar com fatores de estresse [11]. Vale ressaltar que, a viabilidade celular refere-se à proporção de células viáveis numa cultura, distinguindo-se das inviáveis, que já não participam da fermentação por não conseguirem metabolizar os açúcares do mosto [12]. Assim, ambos os parâmetros são fundamentais, porém a vitalidade assume papel crucial, pois processos fermentativos exigem leveduras não apenas viáveis, mas metabolicamente ativas [13]. Garantir a vitalidade celular, portanto, é essencial para manter a produtividade das usinas e viabilizar a aplicação da fermentação VHG.

Importante salientar que a vitalidade celular e a capacidade da *Saccharomyces cerevisiae* em produzir elevados teores de etanol está associada às condições nutricionais e ambientais, sendo o nitrogênio assimilável o principal nutriente limitante, especialmente em processos VHG [10]. Dados recentes da Lievito Biotecnologia em 2025 indicam que destilarias anexas apresentam concentrações médias superiores a 400 ppm de nitrogênio assimilável. Segundo a literatura, concentrações abaixo de 150 ppm podem causar *stuck fermentation*, enquanto valores acima de 400 ppm podem ser tóxicos ou induzir excesso de multiplicação celular. Desta forma, deve-se manter o controle sob a aplicação de soluções químicas.

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe, por meio de soluções químicas (nutritivos celulares), assegurar a vitalidade metabólica das leveduras em processos de fermentação VHG, rompendo o padrão

atual de concentrações de sólidos (°Brix) utilizadas. Espera-se, com isso, promover a sustentabilidade e aumentar a competitividade das usinas do setor sucroenergético.

## 2. METODOLOGIA

O delineamento experimental foi conduzido com o apoio da Dra. Maria Olívia C. Masiero, da Lievito Biotecnologia e em parceria com a Fermentec e Solenis, empresas referência no setor sucroenergético. O estudo foi de caráter experimental, conforme definido por Silva [14] ao buscar identificar variáveis, controlar condições e observar seus efeitos sobre o objeto de estudo.

O estudo foi conduzido voltado à avaliação da vitalidade de linhagens industriais de *Saccharomyces cerevisiae* (PE-2 e Fermel) sob diferentes condições fermentativas. Além disso, foram utilizados dois tipos de mel industrial, VHP e Cristal. O objetivo foi identificar fatores que influenciam a vitalidade celular e o desempenho fermentativo em condições de estresse físico-químico, especialmente sob alto teor de açúcares (°Brix elevado). Desta forma o experimento foi dividido em três partes experimentais.

**Primeira Etapa - Tecan:** Para o experimento, as leveduras PE-2 e Fermel foram cultivadas inicialmente em meio YPD para reativação e crescimento celular. Em seguida o inóculo com YPD foi centrifugado e lavado, assim as células foram ressuspensas em água destilada estéril, ajustando-se as concentrações dos inóculos para  $10^6$ ,  $10^7$  e  $10^8$  células/mL, conforme o delineamento experimental.

Em seguida, foram preparados soluções de concentrações de 20 e 30°Brix, dos substratos de açúcar VHP e Cristal, ajustadas com água destilada. Todos os meios foram esterilizados antes do uso.

Desta forma, utilizando-se de microplacas de 96 poços e o equipamento Tecan Infinite M20PRO (RCHISTO), controlado pelo software i-Control, foram determinadas as condições de incubação, com temperaturas de 30 °C, 34 °C e 37 °C, tipo de mel VHP e Cristal, teor de sólidos 20° e 30 °Brix e concentração de inóculo ( $10^6$ ,  $10^7$  e  $10^8$  células/mL).

Os ensaios realizados em cada poço, foram os seguintes: adicionou-se 190 µL do meio de cultivo e 10 µL do inóculo de levedura, sob câmara de fluxo laminar, garantindo condições assépticas. Após a inoculação dos poços, o crescimento celular foi acompanhado utilizando-se o equipamento Tecan por leituras de densidade óptica a 620nm em intervalos regulares durante 72 horas, com todas as medições realizadas em triplicata para garantir confiabilidade.

**Segunda etapa - Cultivo em Placas Petri:** Nesta etapa, foi avaliado o crescimento da biomassa das leveduras em meios sólidos, ajustados para 40 °Brix, a fim de verificar a tolerância ao estresse osmótico e o efeito de suplementos químicos sobre a vitalidade celular. Os meios de cultura sólidos foram preparados a partir dos méis VHP e Cristal, acrescidos de 3% (m/v) de ágar. Após a esterilização em autoclave, foram adicionadas as soluções químicas: bioativador, nitrofos, coenzima e extrato de levedura, sendo a ureia a única exceção, incorporada antes do processo de esterilização.

Para cada condição experimental, incluindo o controle, prepararam-se 100 mL de meio, sendo vertidos em placas de petri esterilizadas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata, garantindo a reprodutibilidade dos resultados.

Após a elaboração dos meios de cultivo e o vertimento nas placas de Petri, procedeu-se ao preparo dos inóculos de levedura. Foram pesados 0,5 g de levedura seca das cepas PE-2 e Fermel, sendo cultivadas em meio YPD por 24 horas sob agitação constante de 150 rpm. Em seguida, as células foram centrifugadas e ressuspensas em 10 mL de água destilada estéril. A partir dessa suspensão inicial, obteve-se o inóculo com concentração de  $10^{10}$  células/mL, realizando-se diluições seriadas até atingir  $10^4$  células/mL.

Para a inoculação, 3 µL de cada diluição foram pipetados sobre as placas de Petri contendo os respectivos meios de cultura. Após a inoculação, as placas foram incubadas sob condições assépticas, a 37 °C, por um período de 3 dias, sendo monitoradas diariamente quanto ao crescimento celular e à integridade das colônias.

**Terceira Etapa – Fermentação de Bancada:** Com base nos resultados da etapa anterior, selecionaram-se três soluções químicas: bioativador, nitrofos e ureia. Foram preparados 16 meios experimentais, resultantes das combinações entre os dois tipos de mel (VHP e Cristal), o meio de controle, os nutritivos celulares e as cepas de levedura PE-2 e Fermel.

Cada meio, com 100 mL a 40 °Brix, foi esterilizado em autoclave e suplementado após o resfriamento. Em seguida, 30 mL foram destinados à fermentação em erlenmeyer e 70 mL reservados para reposição de substrato durante o processo.

Com os meios fermentativos prontos, foram adicionados 0,3 g de levedura em cada erlenmeyer, mantidos sob a temperatura controlada de 34°C por 12h para adaptação celular. Em seguida, iniciou-se a fermentação alimentada, com leituras de °Brix a cada 2 h e adição de 10 mL da solução de substrato reservada, em sete intervalos consecutivos.

Concluídas as reposições de substrato, os frascos permaneceram em repouso para fermentação durante 14 horas. Após o período sem a alimentação, efetuou-se a leitura final do °Brix e, posteriormente, a análise de vitalidade celular de cada condição fermentativa, conforme o protocolo da Lievito Biotecnologia.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

**ANÁLISE NO TECAN:** As leituras do equipamento Tecan, registradas durante 72 horas possibilitaram a análise do crescimento de biomassa e do efeito da concentração de sólidos e temperatura, nas quais se evidenciaram diferenças significativas entre as cepas de leveduras, °Brix e temperatura. A análise de crescimento realizada no Tecan permitiu avaliar o comportamento das leveduras frente aos estresses térmico e osmótico.

As temperaturas de 30 °C e 34 °C favoreceram tanto o crescimento celular quanto a estabilidade metabólica; enquanto o aumento do teor de sólidos solúveis de 20 para 30 °Brix resultou em menor produção de biomassa,

efeito atribuído ao estresse osmótico, que redireciona a energia celular para a síntese de compostos de defesa.

Constatou-se também diferença significativa entre as leveduras avaliadas, evidenciando que a escolha da cepa influencia diretamente o desempenho fermentativo. Além disso, o aumento da concentração de inóculo favoreceu o crescimento em condições adversas, mostrando-se um fator crucial em meios com alto °Brix e temperaturas elevadas.

**PLACAS DE PETRI:** Nesta etapa, foi avaliado o efeito da suplementação nutricional e da densidade de inóculo em meio sólido com 40 °Brix, utilizando como suplementos ureia, nitrofos, bioativador, coenzima e extrato de levedura.

O aumento da densidade de inóculo promoveu maior colonização e tolerância ao estresse osmótico, resultando em melhor crescimento celular. Entre os suplementos testados, o nitrofos e o bioativador apresentaram os melhores desempenhos, embora sem diferença estatisticamente significativa em relação ao controle.

Observou-se que o meio com 40 °Brix reduziu a vitalidade celular quando comparado ao meio com 20 °Brix. Além disso, a levedura PE-2 demonstrou melhor adaptação ao crescimento em meio sólido, enquanto a cepa Fermel apresentou desempenho superior em condições de fermentação líquida.

**FERMENTAÇÃO EM BANCADA:** As fermentações foram conduzidas por 14 horas de alimentação, seguidas por 12 horas de fermentação por batelada. Após o processo, as amostras foram centrifugadas, e posteriormente realizadas as análises químicas. A análise crítica HPLC das amostras da fermentação da levedura PE-2 se encontra apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1** - Análise por HPLC amostras da fermentação da levedura PE-2 em meio VHP.

| Meio de Cultivo: VHP<br>Levedura:<br>PE-2 | Glicerol%<br>(g/100g) | Etanol %<br>(g/100g) | Vitalidade | Viabilidade |
|---|-----------------------|----------------------|------------|-------------|
| Branco                                    | 0,8436                | 2,7971               | Moderada   | 62,73%      |
| Nitrofos                                  | 0,7923                | 2,6252               | Moderada   | 74,47%      |
| Uréia PE-2                                | 0,9111                | 2,9499               | Moderada   | -           |
| Bioativador                               | 0,8165                | 2,7408               | Moderada   | -           |

Fonte: Elaborado pelos autores

A tabela 2 apresenta a análise das amostras da fermentação da levedura PE-2. Ambas em meio VHP evidenciam que as leveduras apresentaram uma maior vitalidade nos meios contendo açúcar VHP, em comparação aos meios com açúcar cristal.

**Tabela 2** - Análise por HPLC amostras da fermentação da levedura PE-2 em meio VHP.

| Meio de Cultivo: VHP<br>Levedura:<br>PE-2 | Glicerol%<br>(g/100g) | Etanol %<br>(g/100g) | Vitalidade | Viabilidade |
|---|-----------------------|----------------------|------------|-------------|
| Branco                                    | 0,5445                | 1,5030               | Baixa      | -           |
| Nitrofos                                  | 0,5390                | 1,5136               | Baixa      | 92,57%      |
| Uréia Cristal                             | 0,5094                | 1,3853               | Baixa      | 83,47%      |
| Bioativador                               | 0,5183                | 1,4462               | Baixa      | 83,26%      |

Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se ainda que a geração de etanol está diretamente associada à vitalidade celular, visto que nas condições em que as células mantiveram vitalidade moderada resultaram nas maiores taxas de geração de etanol. Adicionalmente, embora os meios com açúcar cristal tenham apresentado maior viabilidade celular, isso não se refletiu em aumento da produção de etanol, indicando que a vitalidade, e não apenas a viabilidade, exerce grande influência sobre o desempenho fermentativo e a eficiência do processo. Entretanto, não foi possível identificar diferenças significativas entre as soluções químicas em relação ao controle, o que impossibilitou avaliar de forma conclusiva o efeito dos suplementos sobre a produção de etanol. Ainda, observou-se que a ureia promoveu maior geração de etanol, acompanhada, contudo, por um aumento na produção de glicerol, especialmente no meio contendo açúcar VHP. Isto indica um desvio metabólico das leveduras para a formação de subprodutos, o que pode representar perdas de eficiência e impactos econômicos negativos para as usinas.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos ao longo do delineamento experimental, foi possível alcançar o objetivo proposto, demonstrando que a vitalidade celular exerce papel determinante na geração de etanol. Verificou-se também que é viável conduzir fermentações a 40 °Brix a 34 °C, mantendo níveis moderados de vitalidade celular, o que representa um avanço promissor para a implementação da tecnologia VHG nas usinas. Contudo, recomenda-se a realização de novos ensaios para aprofundar o estudo dos efeitos das soluções químicas e a proteção celular em condições de estresse fermentativos.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] SANTOS, A. Mudanças climáticas afetam a agricultura e prejudicam a produção de alimentos. **Jornal da USP**, São Paulo, 5 mar. 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/mudancas-climaticas-afetam-a-agricultura-e-prejudicam-a-producao-de-alimentos/>. Acesso em: 10 abr 2025
- [2] LUSA. Brasil prevê redução de 1,6 % na colheita de cana-de-açúcar devido ao clima. **Agroportal**. <https://www.agroportal.pt/brasil-preve-reducao-de-16-na-colheita-de-cana-de-acucar-devido-ao-clima/>. nov. 2025.
- [3] OMETTO, A. R; SOUZA, M. P. A sustentabilidade do setor sucroalcooleiro: um objetivo a ser alcançado. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2001, Aracajú. **Anais [...]** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. p. 1-2.
- [4] CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEM). Novo processo de fermentação amplia a eficiência da produção de bioetanol e reduz a geração de vinhaça. **CNPEM**, 2014. Disponível em: <https://cnpem.br/novo-processo-de-fermentacao-amplia-a-eficiencia-da-producao-de-bioetanol-e-reduz-a-geracao-de-vinhaca/>. Acesso em: 12 abr 2025.

- [5] FERMENTEC. Características da produção de etanol no Brasil. **Fermentec**, 2018. Disponível em: <https://fermentec.com.br/2018/01/18/caracteristicas-da-producao-de-etanol-no-brasil/>. Acesso em: 12 abr 2025.
- [6] GÓES-FAVONI, S. P. *et al.* Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 285-296, 2018.
- [7] LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. Produção de etanol. *In*: Lima, U. A. (coord.). **Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. p.1-43. (Biotecnologia Industrial; v.3)
- [8] EMBRAPA MILHO E SORGO. **Processamento industrial do sorgo sacarino**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 197).
- [9] PULIGUNDLA, P.; SMOGROVICOVA, D.; OBULAM, V. S. R.; KO, S. Very high gravity (VHG) ethanolic brewing and fermentation: a research update. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 9, p. 1133-1144, set. 2011.
- [10] CRUZ, M. L. **Avaliação de condições operacionais na fermentação alcoólica VHG empregando diferentes cepas de *Saccharomyces cerevisiae***. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- [11] RAMALHO, F. L. A. B. C. **Estudo para melhoria da viabilidade e vitalidade da levedura US**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Ciência Alimentar) – Universidade do Minho, 2024.
- [12] DEFFENTE, Julia. Análises de leveduras: viabilidade, vitalidade e contaminantes. **Protos Biotec.**, 2024. Disponível em: <https://protosbiotec.com/blog/analises-de-leveduras-viabilidade-vitalidade-e-contaminantes/>. Acesso em: 12 abr 2025.
- [13] MORAES, J.; BONATTO, D. **Desenvolvimento e padronização do ensaio de resazurina para avaliar a vitalidade de leveduras no contexto microcervejeiro**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- [14] SILVA, A. M. da. **Metodologia da Pesquisa**. 2. ed. Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2015.

### AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão à **Fatec Piracicaba**, pela disponibilização dos laboratórios utilizados durante o desenvolvimento deste projeto. Agradecemos também à **Fermentec**, pela colaboração com o uso do equipamento Tecan e a realização das análises químicas. A **Solenis**, pela mentoria e fornecimento dos meios de cultivos e soluções químicas, e a **Lievito Biotecnologia**, pelo apoio técnico, suplementação e suporte nos processos experimentais.

# OTIMIZAÇÃO DO PREPARO DE AMOSTRAS PARA ANÁLISES DA FERMENTAÇÃO DO ETANOL DE MILHO

Larissa Dourado Bortoleto<sup>1</sup>, Priscila Pinheiro de Lima<sup>1</sup>, Yasmim Lourenço da Conceição<sup>1</sup>,  
 Profa. Dra. Karina Cenciani Rebelo<sup>1</sup>, Eduardo Alexandre de Amorim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan

<sup>2</sup>FERMENTEC

f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes de energia renováveis tem impulsionado o Brasil a diversificar sua matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e expandindo o uso de biocombustíveis [1]. Nesse contexto, o etanol produzido a partir do milho surge como alternativa estratégica, complementar ao etanol de cana-de-açúcar, que historicamente tem sustentado o setor sucroenergético brasileiro [2].

O milho apresenta vantagens competitivas, como ampla disponibilidade regional, elevada produtividade agrícola e flexibilidade logística, já que pode ser cultivado em regiões onde a cana-de-açúcar não é viável [3]. Além disso, seu processamento permite não apenas a produção de etanol combustível, mas também a geração de subprodutos de alto valor agregado, como grãos secos de destilaria (DDGs), utilizados na alimentação animal [4]. Essa característica favorece a integração do modelo de biorrefinaria, no qual diferentes produtos são obtidos a partir da mesma matéria-prima, ampliando a sustentabilidade econômica do processo [5].

No entanto, a conversão do amido do milho em etanol exige etapas adicionais em relação à cana-de-açúcar, principalmente devido à necessidade de liquefação e sacarificação enzimática. A eficiência dessas etapas depende de parâmetros críticos como pH, temperatura, tempo de incubação e concentração de enzimas, os quais impactam diretamente a liberação de açúcares fermentescíveis e, conseqüentemente, o rendimento alcoólico [6]. Dessa forma, estudos que buscam otimizar essas condições são fundamentais para melhorar a competitividade do etanol de milho no Brasil.

Outro aspecto relevante refere-se à escolha de híbridos de milho. Variedades apresentam composições distintas em termos de amido, fibras e compostos fenólicos, fatores que podem interferir na eficiência do processo fermentativo e no perfil dos subprodutos gerados [7]. O etanol de milho produzido pela fermentação do amido dos grãos, expandiu significativamente a capacidade nacional de biocombustíveis. Sua viabilidade econômica é fortemente dependente da venda de coprodutos com alto valor agregado, principalmente DDGS, utilizados como ração animal de alto valor proteico. No Brasil, o modelo de sucesso é a usina "Flex", que integra a produção de etanol de milho à estrutura já existente da usina de cana, operando na entressafra desta. Uma das principais vantagens do modelo flex é aproveitar a queima do bagaço de cana para geração de vapor, sem necessidade de comprar gás ou cavaco de eucalipto [8].

Portanto o desenvolvimento de metodologias analíticas robustas, como a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE ou em inglês, HPLC) tem se mostrado essencial para monitorar e otimizar o processo fermentativo, identificar gargalos e propor ajustes [9]. Atualmente os diversos procedimentos de fermentação a partir do milho seguem uma linha tradicional, sendo um padrão único para todos as usinas que utilizam essa fermentação.

Portanto este trabalho tem como objetivo investigar, a partir do planejamento fatorial (Design of Experiments, DoE), as condições ótimas de fermentação que maximizem a produção de etanol a partir do milho [10]. O foco está no detalhamento das etapas de liquefação, sacarificação e fermentação, além da análise dos parâmetros críticos do processo, visando contribuir para a sustentabilidade e competitividade da bioenergia no Brasil.

## 2. METODOLOGIA

O planejamento fatorial completo com ponto central foi elaborado considerando as variáveis independentes temperatura, pH, marcas de enzimas e tamanho do grão, de modo a avaliar sua influência na liberação de açúcares e no rendimento alcoólico final (Tabela 1).

**Tabela 01** – Planejamento fatorial (DoE)

| Ensaio | Milho | Levedura | Enzima | pH | Temp. |
|--------|-------|----------|--------|----|-------|
| 01     | -1    | -1       | -1     | -1 | -1    |
| 02     | 1     | -1       | -1     | -1 | -1    |
| 03     | -1    | 1        | -1     | -1 | -1    |
| 04     | 1     | 1        | -1     | -1 | -1    |
| 05     | -1    | -1       | 1      | -1 | -1    |
| 06     | 1     | -1       | 1      | -1 | -1    |
| 07     | -1    | 1        | 1      | -1 | -1    |
| 08     | 1     | 1        | 1      | -1 | -1    |
| 09     | -1    | -1       | -1     | 1  | -1    |
| 10     | 1     | -1       | -1     | 1  | -1    |
| 11     | -1    | 1        | -1     | 1  | -1    |
| 12     | 1     | 1        | -1     | 1  | -1    |
| 13     | -1    | -1       | 1      | 1  | -1    |
| 14     | 1     | -1       | 1      | 1  | -1    |
| 15     | -1    | 1        | 1      | 1  | -1    |
| 16     | 1     | 1        | 1      | 1  | -1    |
| 17     | -1    | -1       | -1     | -1 | 1     |
| 18     | 1     | -1       | -1     | -1 | 1     |
| 19     | -1    | 1        | -1     | -1 | 1     |
| 20     | 1     | 1        | -1     | -1 | 1     |
| 21     | -1    | -1       | 1      | -1 | 1     |
| 22     | 1     | -1       | 1      | -1 | 1     |
| 23     | -1    | 1        | 1      | -1 | 1     |
| 24     | 1     | 1        | 1      | -1 | 1     |
| 25     | -1    | -1       | -1     | 1  | 1     |
| 26     | 1     | -1       | -1     | 1  | 1     |
| 27     | -1    | 1        | -1     | 1  | 1     |

|    |    |    |    |   |   |
|----|----|----|----|---|---|
| 28 | 1  | 1  | -1 | 1 | 1 |
| 29 | -1 | -1 | 1  | 1 | 1 |
| 30 | 1  | -1 | 1  | 1 | 1 |
| 31 | -1 | 1  | 1  | 1 | 1 |
| 32 | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 |
| 33 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 34 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 35 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 36 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 37 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 38 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 |

Fonte: Autores, 2025.

Tabela 02 – Legenda das variáveis do planejamento fatorial

| Legenda | Milho      | Levedura     | Enzima    | pH  | Temp. |
|---------|------------|--------------|-----------|-----|-------|
| 1       | Tipo 1     | Cat – 1 e FT | Combo1    | 4,5 | 33    |
| 0       | Tipo 1 e 2 | ½ de cada    | ½ de cada | 4,8 | 33,5  |
| -1      | Tipo 2     | levemilho    | Combo2    | 5   | 38    |

Fonte: Autores, 2025.

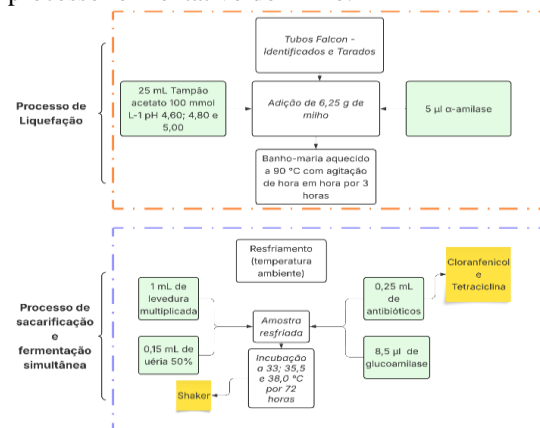
### 2.1 Preparação das Amostras

Foram utilizados grãos de milho previamente pesados e processados (com duas granulometrias, a -1 Mesh 35-60, e +1 Mesh 20-32), em tubos Falcon devidamente identificados e tarados. A cada tubo foram adicionados 6,25 g de milho juntamente com 25 mL de tampão acetato 100 mmol·L<sup>-1</sup>. Em seguida, foi incorporada a enzima α-amilase (5 μL), responsável pela quebra inicial das cadeias de amido.

As amostras foram submetidas ao banho-maria a 90 °C com agitação periódica a cada hora durante 3 horas, promovendo a etapa de liquefação. Esse processo visou reduzir a viscosidade da suspensão e disponibilizar cadeias de dextrinas mais curtas para a etapa seguinte. O procedimento a ser descrito em seguida, feito com as 32 amostras mais os 6 pontos centrais, seguiu o mesmo padrão de esterilização e procedimento para todas.

O estudo foi conduzido em duas etapas principais: (i) liquefação do amido presente no grão de milho; e (ii) processo de sacarificação e fermentação simultânea (SSF) (Figura 01) [5].

Figura 01 – Fluxograma da metodologia aplicada ao processo fermentativo do milho.



Fonte: Adaptado de Embrapa. (2020)

### 2.2 Desenvolvimento e Validação Analítica

Após a liquefação, as amostras foram resfriadas em temperatura ambiente. A cada tubo foram adicionados 1,4085 mL de volume final, e distribuídos nos volumes seguintes:

1 mL de levedura multiplicada (*Saccharomyces cerevisiae* industrial termo resistente);

0,15 mL de ureia a 50%, como fonte suplementar de nitrogênio;

0,25 mL de antibióticos (cloranfenicol e tetraciclina), visando evitar contaminações bacterianas;

8,5 μL de glucoamilase, enzima responsável pela conversão das dextrinas em glicose fermentescível.

A mistura final foi incubada em shaker a temperaturas de 33 °C, 35,5 °C e 38 °C durante 72 horas, em condições de agitação constante, permitindo o desenvolvimento da fermentação alcoólica. O monitoramento foi realizado por análises de pH, concentração de açúcares, rendimento alcoólico e formação de metabólitos secundários, como glicerol e ácidos orgânicos.

A cromatografia líquida acoplada com detector de índice de refração (HPLC-RI) foi adaptada para a quantificação de glicose, frutose, maltose, maltotriose, maltotetraose, ácido lático, glicerol, acetato e etanol.

### 2.3 Análise de Dados e Tratamento Estatístico

Os resultados obtidos do planejamento fatorial completo foram analisados utilizando o software Protimiza Experimental Design.

As análises estatísticas realizadas incluíram ANOVA (p-valor, F<sub>calc</sub> e coeficiente de determinação), visando identificar padrões, correlacionar os metabólitos com a eficiência fermentativa e propor melhorias no processo [5].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Análise Estatística e Desempenho do DOE

O Planejamento de Experimentos (DOE) forneceu resultados importantes para a compreensão do sistema de fermentação, embora algumas premissas iniciais tenham sido refutadas. A análise dos resultados cromatográficos, com foco na otimização do teor alcoólico (concentração de etanol), permitiu identificar o perfil das condições mais eficientes.

**Figura 02** – Amostra de milho utilizada para formar as variáveis 1 e -1

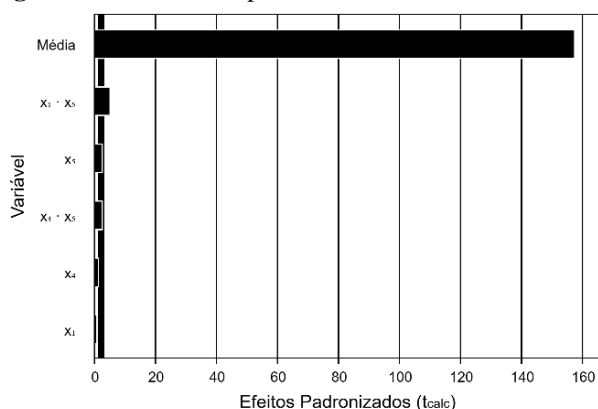
Fonte: Autores, 2025.

Contudo, para a análise do planejamento fatorial, o ideal seria subdividir o experimento em dois sub-blocos milho +1 e milho -1, pois o fator “milho” foi utilizado de maneira equivocada. Em vez de se triturar a amostra, apenas foi feito o peneiramento, resultando em uma farinha mais fina, grãos maiores e, como ponto central, a mistura de ambas. Conforme ilustra a Figura 02, foram geradas três amostras diferentes, e não três variáveis da mesma amostra.

Com relação à análise os resultados se referem a todos os 32 experimentos juntamente com os 06 pontos centrais.

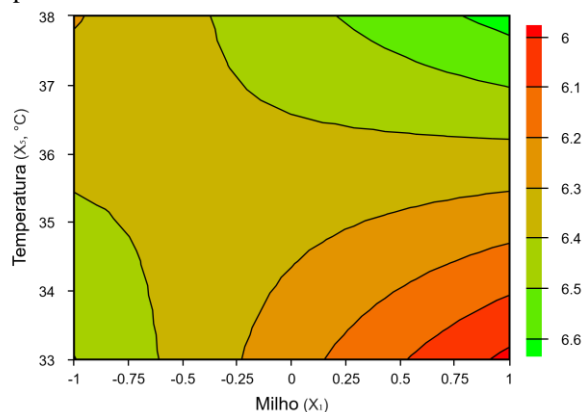
### 3.2 Efeitos Principais e Interações Observadas

A análise dos dados indicou que a temperatura e as características da granulometria do milho foram os fatores com a maior significância estatística. Por outro lado, a enzima e a levedura, não demonstraram impacto significativo no rendimento sugerindo que, nos níveis testados, esses fatores não atuam como limitantes do processo (Figura 3).

**Figura 03** – Gráfico de pareto

Fonte: Autores, 2025.

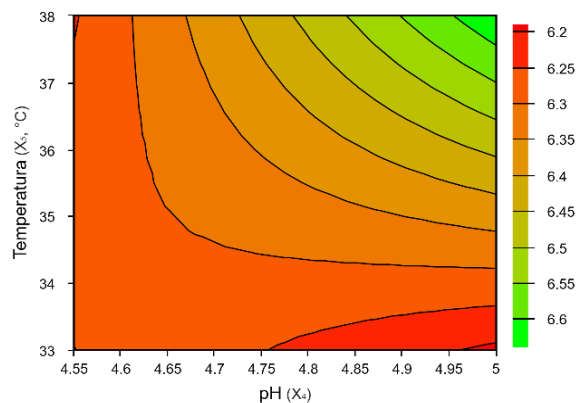
As condições de melhor performance foram invariavelmente associadas à combinação de maior temperatura de processo e maior granulometria do milho. A convergência indica que a combinação desses dois fatores é a chave para a maximização do rendimento, conforme demonstrado no gráfico de superfície (Figura 4).

**Figura 04** – Gráfico de superfície de milho comparativo com temperatura

Fonte: Autores, 2025.

A relação de temperatura com maior eficiência pode estar relacionada com a melhor atuação de enzimas em temperaturas mais altas. Mesmo essa relação não sendo identificada nos resultados do DoE, a alta temperatura potencializa a atividade biológica e otimiza as etapas tornando o amido mais acessível.

Interação Temperatura e pH, embora sem efeito principal, em alguns dos casos que tivemos um teor de etanol maior foram alcançados quando a Temperatura Mais Alta foi combinada com o pH mais ácido, como podemos ver no seguinte gráfico de superfície (Figura 5).

**Figura 05** – Gráfico de superfície pH comparativo com temperatura

Fonte: Autores, 2025.

Em contraste, os resultados demonstram que as variáveis de enzima e levedura não exerceram um impacto significativo. A análise dos melhores resultados não revelou uma maior aparição ou correlação com nenhum *combo* de enzima ou com uma levedura específica, sugerindo que, na faixa de dosagem e tipos testados, estes fatores não foram limitantes.

Porém quando se analisam os resultados dos experimentos que tiveram teor de etanol mais baixo, encontra-se o mesmo mesh de milho das melhores fermentações. Isto pode estar correlacionado com a maneira que se realizou para criar as variáveis do milho.

A manipulação da variável milho, a metodologia realizada de fracionamento por simples peneiração resultou

na criação de três amostras distintas (farelo, grão maior e milho original), em vez de se variar os níveis de um único fator controlável. Esta falha metodológica introduziu um viés de amostragem, comprometendo a avaliação da influência isolada da granulometria.

A limitação metodológica é evidenciada pelo resultado contraditório: a mesma granulometria (a maior) produziu os rendimentos máximos e mínimos, sendo o diferencial determinado exclusivamente pela temperatura nos melhores e nos piores casos (Tabela 3).

**Tabela 3** – Resultados dos pontos centrais.

| Ensaio | Milho | Levedura | Enzima | pH | T | Etanol |
|--------|-------|----------|--------|----|---|--------|
| 33     | 0     | 0        | 0      | 0  | 0 | 6,47   |
| 34     | 0     | 0        | 0      | 0  | 0 | 6,35   |
| 35     | 0     | 0        | 0      | 0  | 0 | 6,41   |
| 36     | 0     | 0        | 0      | 0  | 0 | 6,58   |
| 37     | 0     | 0        | 0      | 0  | 0 | 6,35   |
| 38     | 0     | 0        | 0      | 0  | 0 | 6,42   |

Fonte: Autores, 2025.

A repetibilidade dos procedimentos foi avaliada por meio de 06 repetições no ponto central do planejamento experimental, abrangendo todas as etapas: liquefação, sacarificação, fermentação e análises cromatográficas. Os resultados obtidos apresentaram excelente estabilidade, com teor alcoólico médio de 6,43% (m/m) e coeficiente de variação de apenas 1,33%. A baixa dispersão demonstra a consistência do método empregado e a reprodutibilidade dos processos, indicando que as variações observadas entre as repetições são atribuídas apenas a flutuações inerentes ao sistema analítico.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, validados estatisticamente pelo DoE, permitiram concluir que a temperatura e as características do milho (com maior granulometria), foram as variáveis que demonstraram maior significância estatística no rendimento final.

Entretanto a enzima e a levedura não apresentaram impacto significativo nas condições testadas nesta pesquisa. Contudo o pH foi considerado estatisticamente limitado nas faixas testadas, pois a influência que teve foi relacionada a temperatura, mas ainda se manteve menor em comparação às outras relações.

Embora a granulometria do milho não tenha sido investigada com o método mais adequado, observou-se que a interação entre essa variável e a temperatura foi o fator mais relevante. A combinação de grãos mais grossos com temperaturas mais elevadas resultou nos maiores teores alcoólicos obtidos, enquanto as mesmas granulometrias, sob temperaturas mais baixas apresentaram o menor rendimento. Esses resultados indicam que o controle térmico é o principal mecanismo a ser explorado para otimizar a conversão.

A partir deste projeto e da aplicação do DoE, foi possível discernir e entender novos passos metodológicos e operacionais cruciais. Este conhecimento é essencial

para a otimização contínua e progressiva do processo de fermentação do etanol de milho, direcionando futuros esforços de pesquisa para se refinar o controle das variáveis mais influentes.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] SOUZA, M. M.; ALMEIDA, J. R. M. Biorrefinarias: um novo conceito para a indústria do futuro. *Química Nova na Escola*, v. 38, n. 4, p. 326-335, nov. 2016.
- [2] ALCANTARA, G. U. *et al.* Brazilian flex mills: ethanol from sugarcane molasses and corn mash. *BioEnergy Research*, v. 13, n. 1, p. 229-236, 2020.
- [3] JUNQUEIRA, T. L. *et al.* Techno-economic analysis of the integration of first-generation corn ethanol production into a brazilian sugarcane mill. *Bioresource Technology*, v. 249, p. 1-8, fev. 2018.
- [4] CARDONA, C. A.; SÁNCHEZ, O. J. Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 12, p. 2415-2457, 2007.
- [5] CARDOSO, W. S. *et al.* **Metodologia científica**: determinação do rendimento de produção de etanol de grãos de milho por via seca em escala laboratorial. Sete Lagoas, MG: Embrapa, 2020. (Comunicado Técnico, 246).
- [6] ESBENSEN, K. H.; SWARBRICK, B. **Multivariate data analysis** – an introduction to multivariate analysis, process analytical technology and quality by design. 6. ed. Oslo: CAMO Software, 2018.
- [7] NIELSEN, S. S. **Food analysis**. 3. ed. New York: Springer, 2003.
- [8] GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A. Ethanol fuel from biomass: a review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, v. 64, p. 809-821, 2005.
- [9] ROCHA, M. V. P. *et al.* Enzymatic hydrolysis and fermentation of pretreated cashew apple bagasse with *Saccharomyces cerevisiae* for bioethanol production. *Industrial Crops and Products*, v. 89, p. 251-259, 2016.
- [10] MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 9. ed. New Jersey: Wiley, 2017.

#### Agradecimentos

À Fermentec pelo apoio ao desenvolvimento do projeto, ao Glauco Mello pela colaboração no envio das amostras e à Fatec Piracicaba pelo suporte ao projeto.

# REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM DO POLIESTIRENO EXPANDIDO TORNANDO-O EM UM PRODUTO RENTÁVEL E PROVEITOSO

Elisa Silveira<sup>1</sup>, Helen Cerimarco<sup>1</sup>, Luiza Cantoviks<sup>1</sup>, Nicolas Bagarollo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa

wagner.ferreira@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

O poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como isopor, é um material amplamente utilizado em embalagens e isolamentos, porém de difícil reciclagem devido à sua baixa densidade e elevado volume [1]. O descarte inadequado desse polímero causa sérios impactos ambientais, contribuindo para o acúmulo de resíduos plásticos de longa degradação [2].

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo reaproveitar o EPS na produção de uma tinta impermeável e de baixo custo, utilizando o D-limoneno como solvente ecológico [3]. A proposta visa desenvolver um produto sustentável que, além de reduzir o impacto ambiental, possa gerar valor econômico e social por meio da reciclagem de resíduos plásticos [4].

## 2. METODOLOGIA

O experimento foi realizado no laboratório de Microbiologia da ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa. O EPS foi coletado, limpo e triturado, sendo dissolvido em D-limoneno até completa homogeneização. Em seguida, foram adicionados pigmento de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>), solvente e demais reagentes para formulação das amostras.

As tintas produzidas foram aplicadas sobre substratos de cortiça e papelão, em duas demãos na tira de cortiça e uma demão na tira de papelão, para avaliar propriedades como tempo de secagem, área de cobertura e impermeabilidade. A Tabela 01 mostra a composição utilizada em cada amostra testada.

**Tabela 01** – Composição das tintas nos testes

|                            | Volume de D-limoneno | Massa de EPS | Massa de TiO <sub>2</sub> |
|----------------------------|----------------------|--------------|---------------------------|
| Teste 1                    | 1 mL                 | 0,5 g        | Não foi adicionado        |
| Teste 2                    | 2 mL                 | 1 g          | Não foi adicionado        |
| Teste 3                    | 10 mL                | 5 g          | 0,6881 g                  |
| Teste de Área de Cobertura | 54 mL                | 27,05 g      | 3,6328 g                  |
| Teste de Impermeabilidade  | 15 mL                | 7,33 g       | Massa desconhecida        |

Fonte: Autoria própria (2025).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante os testes, observou-se que as tintas apresentaram tempo de secagem reduzido, inferior ao de tintas comerciais, sendo um ponto positivo para a aplicação prática. Entretanto, a área de cobertura foi inferior ao esperado, exigindo maior quantidade de produto por metro quadrado.

Abaixo são apresentadas as tabelas 02 e 03, tempo de secagem e área de cobertura, ambos do mesmo teste

**Tabela 02** – Tempo de secagem do teste de área de cobertura

|        | Tempo de secagem da demão 1 | Tempo de secagem da demão 2 |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|
| Tira 1 | 1h20min                     | 18h45min                    |
| Tira 2 | 1h17min                     | 18h46min                    |
| Tira 3 | 1h15min                     | 18h47min                    |

Fonte: Autoria própria (2025).

**Tabela 03** – Área de cobertura (m<sup>2</sup>/kg) do teste de área de cobertura

|        | Área de cobertura (m <sup>2</sup> /kg) da demão 1 | Área de cobertura (m <sup>2</sup> /kg) da demão 2 |
|--------|---|---|
| Tira 1 | 0,6060 m <sup>2</sup> /kg                         | 0,813 m <sup>2</sup> /kg                          |
| Tira 2 | 0,5917 m <sup>2</sup> /kg                         | 0,5376 m <sup>2</sup> /kg                         |
| Tira 3 | 0,7874 m <sup>2</sup> /kg                         | 0,73 m <sup>2</sup> /kg                           |

Fonte: Autoria própria (2025).

A análise da impermeabilidade indicou que as amostras 5 e 6 apresentaram desempenho satisfatório, com boa resistência à passagem de umidade, enquanto a amostra 4 teve menor eficiência. A Tabela 04 apresenta os resultados de umidade obtidos nos substratos após a aplicação das tintas. A Figura 1 mostra o aspecto visual da tinta aplicada sobre a cortiça após a segunda demão, evidenciando a formação de um filme uniforme e aderente.

**Tabela 04** – Umidade por tira de papelão

|        | Massa úmida (g) | Massa seca (g) | % de Umidade da amostra |
|--------|-----------------|----------------|-------------------------|
| Tira 1 | 5,46            | 4,9            | 10,2564%                |
| Tira 2 | 6,1             | 4,83           | 20,8196%                |
| Tira 3 | 5,87            | 4,83           | 17,7172%                |
| Tira 4 | 7,77            | 6,90           | 11,1969%                |
| Tira 5 | 7,78            | 7,47           | 3,9845%                 |
| Tira 6 | 7,76            | 7,46           | 3,8659%                 |

Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 1 mostra o aspecto visual da tinta aplicada sobre a cortiça após a segunda demão, evidenciando a formação de um filme uniforme e aderente.

**Figura 01** – Aparência da tinta após secagem da segunda demão em cortiça



Fonte: Autoria própria (2025).

## 4. CONCLUSÕES

O reaproveitamento do poliestireno expandido para a formulação de tintas impermeáveis mostrou-se uma alternativa promissora e ambientalmente correta. O uso do D-limoneno como solvente possibilitou a dissolução eficiente do polímero, resultando em um produto de rápida secagem e boa impermeabilidade.

Apesar da área de cobertura limitada, o estudo confirmou o potencial do EPS reciclado na fabricação de novos produtos, promovendo a sustentabilidade e a redução de resíduos sólidos.

## 5. REFERÊNCIAS

[1] NOGUEIRA, R. M.; SILVA, A. J. Reciclagem de poliestireno expandido: alternativas e aplicações. **Revista Brasileira de Polímeros**, v. 26, n. 2, p. 45–52, 2019.

- [2] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Normas técnicas para gestão ambiental**. Rio de Janeiro, 2018.
- [3] SANTOS, V. F. O uso de D-limoneno como solvente verde na indústria química. **Química Sustentável**, v. 5, p. 120–125, 2020.
- [4] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Normas técnicas para tintas**. Rio de Janeiro, 2014.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos professores Wagner Ferreira e Eduardo Antedomenico pelo auxílio e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho, e ao auxiliar docente André Cera da ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa, pelo apoio nas atividades práticas e pela disponibilização do dióxido de titânio e dos equipamentos utilizados.

Estendem o agradecimento ao técnico Matheus Galdino, da Fatec Piracicaba – Dep. Roque Trevisan, pela colaboração na etapa prática final, e ao prof. Dr. Eduardo Mariano, do Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, pelo fornecimento do solvente orgânico D-limoneno, essencial para a execução deste projeto.

# SABONETE PET SUSTENTÁVEL: REAPROVEITAMENTO DO ÓLEO DE MILHO RESIDUAL

Felipe Mazzi da Silva<sup>1</sup>, Geiziele Porto Classere<sup>1</sup>, Julia de Camargo Silva<sup>1</sup>

Profa. Dra. Karina C. Rebelo<sup>1</sup>, Profa. Dra. Gisele Gonçalves Bortoleto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan

f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

O etanol de milho vem ganhando cada vez mais espaço no setor energético brasileiro, já consolidado em países como Estados Unidos e China. Dessa forma, o Brasil, que já é o segundo maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo e o terceiro na produção de milho, está se atualizando mais a cada dia, se alinhando com as tendências do mercado e construindo novas usinas para a produção desse biocombustível. Assim como na indústria sucroalcooleira, na qual há a tentativa de trazer cada vez mais valor agregado aos subprodutos - como a vinhaça, no caso do milho - na produção baseada em milho, o aumento do valor agregado do óleo e do DDGs vêm sendo visado, podendo ser utilizados em diversos outros setores tais como cosméticos, indústria química, alimentos, pesquisa e desenvolvimento.

Cabe destacar, que o mercado relacionado à utilização dos coprodutos provenientes da produção de etanol de milho encontra-se em crescente desenvolvimento, impulsionado pela expansão das fábricas e pelo interesse em soluções sustentáveis e economicamente viáveis. A escolha pelo milho, em detrimento da cana-de-açúcar, é estratégica e apresenta vantagens produtivas significativas. De acordo com estudos recentes sobre o setor sucoenergético, nos últimos anos, contudo, houve uma expressiva expansão da produção de etanol de milho, principalmente na região Centro-Oeste, como Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Enquanto a cana é colhida apenas uma vez ao ano e utilizada tanto para o açúcar quanto para o etanol, o milho pode ser colhido mais de uma vez, sendo destinado à fabricação do etanol, rações e alimentos. Essa integração entre as duas matérias-primas fortaleceu o setor, ampliando a oferta e reduzindo a periodicidade da produção de biocombustíveis no Brasil. Dessa forma, essa diferença evidencia o potencial do milho como matéria-prima promissora para o setor e reforça a importância dos estudos voltada ao aproveitamento integral dos seus derivados. [1]

Nessa perspectiva, o Sabonete Líquido JFG surge como uma alternativa inovadora, no contexto do crescente interesse da população por produtos voltados ao bem-estar animal e a tendência de expansão do mercado para animais domésticos. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação (ABINPET), o setor faturou mais de R\$ 60 bilhões em 2023, o qual se mostra cada vez mais receptivo a soluções sustentáveis e diferenciadas. [2]

Com isso, o projeto busca valorizar o óleo residual gerado durante o processo industrial, utilizando-o na produção de um produto voltado à preservação ambiental. Segundo dados apresentados por Vitória Kerollainy Félix Sá em seu estudo científico, um litro de óleo pode contaminar mais de 20 mil litros de água. A autora destaca

ainda, com base em dados da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2024), que o consumo anual de óleo vegetal no Brasil é de aproximadamente 3 bilhões de litros, dos quais cerca de um quarto é descartado de forma inadequada [3] [4].

A precificação de produtos sustentáveis, como o Sabonete Líquido JFG, é um fator estratégico que influencia diretamente sua inserção e competitividade no mercado pet. Definir o preço ideal exige equilíbrio entre os custos de produção, envolvendo o reaproveitamento de insumos, o uso de matérias-primas ecológicas e os processos de fabricação, e o valor percebido pelo consumidor final, que associa qualidade e responsabilidade ambiental ao produto. Sendo assim, adotar uma política de preços justa e acessível permite que o produto se destaque não apenas pelo apelo sustentável, mas também pela viabilidade econômica e pelo potencial de atingir um público cada vez mais consciente. Além disso, os produtos desenvolvidos a partir de coprodutos do etanol de milho representam uma alternativa viável e inovadora para a indústria, promovendo o aproveitamento integral de matérias-primas e reduzindo impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos [4].

É notório, portanto, que o desenvolvimento de um sabonete líquido na atualidade é de suma importância, pois, além de agregar valor às substâncias classificadas como resíduos, contribui para a diminuição de materiais de descarte e para o fortalecimento de práticas ambientalmente responsáveis.

## 2. METODOLOGIA

O sabonete para pet foi desenvolvido a partir do óleo de milho comercial, no laboratório de Química da Fatec de Piracicaba.

Em primeiro lugar, para reduzir o odor característico, foi realizado uma desodorização no produto, onde adicionou-se 80 gramas de fibra de coco em 300 mL da amostra de óleo de milho, mistura que foi deixada em descanso por aproximadamente 12 horas, conforme Figura 01[5].

**Figura 01** – Desodorização com fibra de coco



Fonte: Autoral (2025)

Após, iniciou-se o processo de filtração utilizando a bomba a vácuo, que durou cerca de 15 minutos. Em seguida, foi realizado teste de acidez utilizando a volumetria de neutralização, com NaOH e fenolftaleína.

Após tal análise, deu-se o início da etapa de formulação para 1 litro do sabonete, a qual está descrita na Tabela 01 abaixo, contendo os respectivos ingredientes e suas quantidades empregadas no processo[6].

**Tabela 01** – Formulação do sabonete pet à base de óleo de milho

| Ingrediente           | Quantidade |
|-----------------------|------------|
| Goma Xantana          | 1 g        |
| Glicerina Bidestilada | 50 mL      |
| Óleo de Milho         | 70 mL      |
| Nipaguard             | 10 mL      |
| Lauril                | 250 mL     |
| Extrato de Aloe Vera  | 80 mL      |
| Água                  | 500 mL     |
| Corante               | 8 gotas    |
| Essência              | 15 gotas   |

Fonte: Autoral (2025)

Com o sabonete pronto e armazenado para desenvolvimento de rotulagem, usando ChatGPT, realizou-se uma pesquisa via *forms*. Também se realizou um estudo de viabilidade econômica acerca do produto desenvolvido para precificação do mesmo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### Desodorização do óleo de milho

O processo de desenvolvimento do sabonete PET JFG iniciou-se pela purificação do óleo de milho in natura. A desodorização com fibra de coco mostrou-se eficaz na redução do odor característico do óleo, conforme observado visualmente e olfativamente após 12 horas de contato.

A etapa seguinte, de filtração a vácuo, permitiu a completa remoção dos resíduos da fibra em um tempo relativamente curto, de 15 minutos, resultando em um óleo visualmente límpido e com odor suavizado. Conseqüentemente, com a fibra seca se obteve o melhor resultado, ficando com um aroma leve e agradável para a área de cosméticos.

#### Análise da Qualidade do Óleo – Índice de Acidez

Destaca-se que o sabonete precisa apresentar excelente qualidade química, pH neutro, matérias-primas seguras e puras, e estabilidade físico-química, além de limpar suavemente, sem irritar a pele, mantendo boa formação de espuma e hidratação. Logo, esses parâmetros confirmam que o produto possui equilíbrio adequado entre os componentes.

Para análise de índice de acidez empregou-se a equação abaixo:

$$IA = \frac{V \times N \times 56,1}{m}, \text{ onde:}$$

IA = Índice de Acidez (mg KOH/g)

V = Volume da solução de KOH (hidróxido de potássio) usado na titulação (mL)

N = Normalidade da solução de KOH (equivalentes por litro, eq/L)

56.1 = Massa molar do KOH (g/mol)

m = Massa da amostra de óleo ou gordura utilizada (g)

O índice de acidez obtido para o óleo utilizado foi de 0,8 mg KOH/g, valor ligeiramente acima do recomendado para óleos vegetais refinados (até 0,5 mg KOH/g), mas ainda dentro da faixa aceitável para óleos brutos (até 1,0 mg KOH/g). Esse resultado indica a presença de uma quantidade moderada de ácidos graxos livres, o que pode influenciar na estabilidade do produto final, favorecendo a oxidação e alterações no odor ou na coloração ao longo do tempo. Ainda assim, o óleo pode ser aproveitado em formulações cosméticas, desde que sejam adotadas medidas de estabilização, como o uso de antioxidantes naturais, por exemplo, a vitamina E, como fora realizado.

#### Formulação do Sabonete Pet

A partir da formulação descrita na metodologia, o sabonete foi produzido e apresentou o aspecto, conforme Figura 02.

**Figura 02** –Formulação Final do Sabonete



Fonte: Autoral (2025)

O aspecto do sabonete ficou de acordo com o esperado, levemente translúcido.

#### Estudo de Rotulagem

O grupo desenvolveu a marca e a logomarca do produto, usando ChatGPT, buscando transmitir sua identidade e proposta sustentável. Em seguida, após a finalização bem-sucedida do sabonete, foi elaborado um rótulo informativo, contendo as instruções de uso e demais informações necessárias ao consumidor, conforme Figura 03.

**Figura 03** – Embalagem frente e verso do Sabonete PET



Fonte: Autoral (2025)

**Pesquisa de Mercado**

Após a produção do sabonete realizou-se uma pesquisa via forms, com o intuito de compreender melhor o público-alvo, identificando seus interesses, hábitos de compra e nível de conhecimento sobre produtos de higiene voltados para animais. Essa investigação permitiu coletar dados importantes para avaliar a aceitação do sabonete desenvolvido, além de fornecer subsídios para futuros aprimoramentos na formulação e na estratégia de divulgação do produto.

Para alcançar esse objetivo, o questionário abordou aspectos como a frequência dos banhos dos animais, o local onde eles são realizados (em casa ou no pet shop) e os principais fatores que influenciam na escolha de produtos de higiene - como preço, fragrância, qualidade e sustentabilidade. Além disso, buscou compreender se os participantes já utilizam produtos sustentáveis e se demonstrariam interesse em testar um sabonete elaborado a partir de óleo vegetal de milho, uma alternativa mais natural e ambientalmente responsável em relação aos produtos convencionais.

Com base na pesquisa aplicada, foi possível obter uma visão mais ampla acerca do perfil e das percepções do público em relação ao produto. As respostas coletadas possibilitaram compreender o nível de interesse dos participantes, seus hábitos de compra e a aceitação do produto desenvolvido. A seguir, nas Figuras 04 a 06, são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos por meio do questionário, os quais contribuíram para a análise do potencial do projeto e para o direcionamento de possíveis melhorias futuras.

**Figura 04** –Pesquisa Autoral.

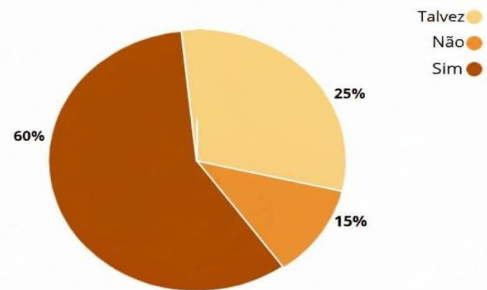


Fonte: Autoral (2025)

Considerando a Figura 04, observa-se que mais de 50% dos respondentes desconhecem produtos sustentáveis na área de cosméticos, o que representa um grande nicho de mercado a ser explorado, no qual o projeto está inserido.

**Figura 05** –Pesquisa Autoral

Se a resposta for sim, você utiliza os mesmos?

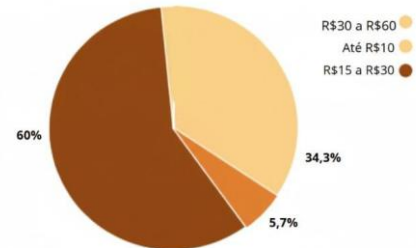


Fonte: Autoral (2025)

Considerando a Figura 05, os dados são positivos uma vez que, a maioria dos respondentes que conhecem os produtos sustentáveis, fazem uso do mesmo, o que sugere que levam em consideração o impacto positivo que estes podem gerar na economia circular.

**Figura 06** – Pesquisa Autoral

Até qual valor estaria disposto a pagar pelo mesmo?



Fonte: Autoral (2025)

Considerando a Figura 06, observa-se que a maioria dos respondentes estão dispostos a pagar de R\$15,00 a R\$30,00 reais por um produto que traz o valor da sustentabilidade. Essa resposta está em consonância com o sabonete PET produzido neste projeto, que traz a precificação no item abaixo.

**Estudo Viabilidade Econômica**

Uma avaliação de custo de produção e precificação foi realizada e está apresentada na Tabela 02, que apresenta os

resultados obtidos na produção de 250 mL do sabonete líquido PET.

**Tabela 02** –Viabilidade Financeira

| Valores Produção 250 mL |           |          |
|-------------------------|-----------|----------|
| Venda                   | Custo     | Lucro    |
| R\$ 15,00               | R\$ 11,00 | R\$ 4,00 |

Fonte: Autoral (2025)

Considerando um custo total de R\$ 11,00 por cada 250 mL, sugeriu-se e um valor de venda de R\$ 15,00, resultando em um lucro líquido de R\$ 4,00 por unidade. Embora haja um pequeno retorno financeiro, o produto ainda não apresenta plena viabilidade econômica para produção em larga escala, considerando o custo dos insumos e o volume reduzido da produção experimental. Ainda assim, destaca-se o caráter sustentável do projeto, que utiliza óleo de milho reaproveitado e contribui para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de óleos vegetais.

Os resultados obtidos evidenciam que a proposta alia sustentabilidade e potencial comercial, demonstrando ser promissora para aprimoramentos futuros. Com ajustes na formulação, aquisição de insumos em maior volume e otimização das etapas produtivas, espera-se reduzir o custo de produção e melhorar o desempenho econômico do produto. Dessa forma, o sabonete PET pode evoluir para uma alternativa viável e sustentável, com potencial de inserção em nichos voltados a produtos ecológicos e de responsabilidade ambiental. Portanto, com planejamento e controle das etapas de fabricação, o sabonete PET poderá consolidar-se como uma opção de baixo impacto ambiental e boa qualidade, ainda que sua produção em larga escala exija aperfeiçoamentos.

#### 4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os resultados do projeto Sabonete Líquido JFG foram positivos e o seu objetivo foi alcançado, demonstrando a viabilidade de transformar subprodutos industriais, como o óleo residual da produção de etanol de milho, em produtos de valor agregado. Além de reduzir o desperdício de recursos, o desenvolvimento do sabonete atende à crescente demanda do mercado pet por produtos inovadores, sustentáveis e diferenciados, evidenciando que sustentabilidade e viabilidade econômica podem caminhar juntas.

Ademais, a iniciativa contribuiu para conscientizar consumidores e indústrias sobre a importância do reaproveitamento de matérias-primas, fortalecendo a responsabilidade ambiental e social. Por fim, o projeto abre espaço para novos estudos e aplicações, incentivando a criação de soluções inovadoras que unam preservação ambiental, inovação tecnológica e valorização do mercado, consolidando o potencial de subprodutos do etanol de milho como recursos estratégicos e ecológicos.

#### 5. REFERÊNCIAS

[1] CAPITANI, Daniel Henrique Dario *et al.* Corn ethanol expansion in Brazil: Are volatility interconnectedness changing? *In: AGRICULTURAL AND APPLIED*

ECONOMICS ASSOCIATION ANNUAL MEETING, 2024, New Orleans. **Proceedings** [...]. [S.l.: s.n.], 2024.

[2] APAIXONADOS POR QUATRO PATAS. Crescimento do Mercado Pet: Uma Oportunidade de Ouro. **Apixonados por Quatro Patas**, 30 jul. 2025. Disponível em:

<https://apaixonadosporquatropatas.com.br/crescimento-do-mercado-pet-uma-oportunidade-de-ouro/>. Acesso em: 15 out. 2025.

[3] PAULA, Bruna Ribeiro de *et al.* **Desenvolvimento e caracterização do extrato do bagaço de uva para aplicação em xampu de linha pet**. 2022. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2022.

[4] SÁ, Vitória Kerollainy Félix. **Produção de sabonete líquido a partir de óleo de fritura coletado da lanchonete do CT na UFPB**. 2024. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024.

[5] VELOSO, Yago Matheus da Silva; SOUZA, Italo Edwin Santos; SANTOS, José Vieira dos; LEITE, Manuela Souza. Reutilização da fibra da casca do coco verde para a produção de matéria-prima industrial. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 1, n. 17, p. 91-98, out. 2013.

[6] NASCIMENTO, Daniela Defavari do. **Aula 20 – Produção de polissacarídeos e lipídios**. São Paulo: FATEC, 07 nov. 2023. Material didático da disciplina Processos Bioquímicos e Fermentativos. p. 5–8.

#### AGRADECIMENTOS

Ao professor Josinei Venâncio pela colaboração e contribuição na formulação do produto, e ao professor Odilon Delmont pelas orientações em toda parte financeira do projeto.

# SIMULADOR DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO ETANOL DE MILHO E SEUS CO-PRODUTOS

Davi Ramaciotti Guedes<sup>1</sup>, Marcos Iury Felix Inacio<sup>1</sup>, Matheus Henrique Magrini Callegaro<sup>1</sup>, Nicolas Mardegan de Lima<sup>1</sup>, Profa. Dra. Karina C. Rebelo<sup>1</sup>, Dr. Thiago José Barbosa Mesquita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan

<sup>2</sup>FERMENTEC

f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, embora a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ainda seja predominante, o milho (*Zea mays*) [1] tem ganhado espaço, principalmente em estados como Mato Grosso e Goiás, onde a disponibilidade de grãos e a logística agrícola favorecem essa expansão [2].

Somado ao sancionamento da Lei do Combustível do Futuro [3], a expansão de produções de etanol não baseadas em cana-de-açúcar — como o etanol de milho — se intensificou, visto que o teor de etanol anidro na gasolina deve passar de 27% em volume para até 35%.

O avanço da produção de etanol de milho no país deve-se não apenas à oferta agrícola e à logística, mas também à possibilidade de integração produtiva com plantas de etanol à base de cana-de-açúcar já existentes, com

Isso possibilita o aproveitamento do milho de segunda safra e a geração de subprodutos extremamente rentáveis — como os grãos secos com solúveis (DDGs, em inglês) e o óleo de milho — à capacidade de cogeração proporcionada pelo bagaço de cana [2].

O amido é a principal fonte de carbono disponível para a fermentação, portanto, a produção industrial de etanol de milho tem alguns indicadores chave de processo (KPIs) e indicadores econômicos distintos de uma usina de cana.

Por ser um processo bioquímico de comportamento não linear, é necessário mapear variáveis operacionais e econômicas, de modo que seja possível simular cenários e fatores que interfiram diretamente na eficiência, nos custos e receitas de uma planta produtiva de etanol de milho.

A viabilidade econômica nesse contexto surge como uma necessidade: não há prototipagem real de processos industriais sem considerar os custos operacionais (OPEX), de capital (CAPEX) [2] e saídas, como o lucro e o balanço.

Uma alta nos preços dos insumos afeta os custos de produção e a capacidade do negócio de gerar lucro, medido pelo EBIT (Earnings Before Interest and Taxes). Entretanto, um aumento no preço dos produtos finais — etanol, DDGs, óleo — é capaz de influenciar positivamente a capacidade de gerar lucro.

É nesse contexto que surge o conceito do CornV: um simulador de viabilidade técnico-econômica da produção de etanol de milho que visa modelar todas as principais operações unitárias desse processo produtivo, diferentemente de outros simuladores “open-source” que focam em modelar partes específicas do processo.

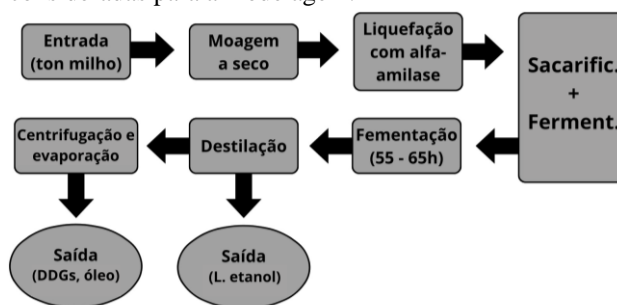
Portanto, tem-se como objetivo trazer visualizações das teorias físicas e químicas mais relevantes e pertinentes — no contexto de prototipagem e gestão de rotinas — para cumprir o objetivo de simulação proposto ao mesmo tempo em que se adequa aos parâmetros fornecidos pelo usuário para retornar insights e dados dos indicadores-chave.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento de um algoritmo de modelagem, a revisão bibliográfica foi essencial para definição das operações unitárias. As simulações foram baseadas na produção tradicional de etanol de milho.

Para a modelagem, compartimentalizaram-se as etapas, conforme a sequência demonstrada na Figura 01.

**Figura 01** – Fluxograma que demonstra as etapas consideradas para a modelagem.



Fonte: Autores (2025).

O desenvolvimento do simulador foi feito em Django, uma ferramenta de desenvolvimento de sites da linguagem de programação Python [5]. Os parâmetros de entrada para a simulação estão descritos na Tabela 01.

**Tabela 01** – Parâmetros de entrada iniciais do simulador

| Parâmetro  | Valor         |
|--|---------------|
| Massa de milho (kg)                                  | 1000          |
| Massa de $\alpha$ -amilase (g)                       | 20            |
| Massa de leveduras (g)                               | 150           |
| Modelo físico para destilação (NRTL ou experimental) | experiment al |

Fonte: Velu, V. *et al* (2006).

O módulo de moagem considera diversos parâmetros configuráveis — demonstrados na Tabela 02 — para a realização dos cálculos por meio do modelo de Bond, descrito na Equação 01, com  $K_B$  sendo uma constante obtida da literatura [6].

$$Energia = \left( K_B \cdot \frac{1}{\sqrt{d_{final}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{d_{inicial}}} \right) \cdot massa \quad (1)$$

**Tabela 02** – Parâmetros utilizados no modelo de moagem

| Parâmetro                   | Valor |
|-----------------------------|-------|
| Massa de milho (kg)         | 1000  |
| Diâmetro de entrada (mm)    | 4,22  |
| Diâmetro de saída (mm)      | 0,13  |
| Índice de trabalho (kWh/kg) | 0,12  |

Fonte: Velu, V. *et al* (2006); Wang, P. *et al* (2007).

O módulo de liquefação calcula a cinética enzimática da liquefação por meio de um modelo de Michaelis-Menten, com seus parâmetros sendo obtidos da literatura [7]. Os principais parâmetros operacionais da simulação estão listados na Tabela 03.

**Tabela 03** – Parâmetros utilizados no modelo de liquefação

| Parâmetro                             | Valor |
|---------------------------------------|-------|
| Concentração de amido no slurry (g/L) | 260   |
| Massa de $\alpha$ -amilase (g)        | 20    |
| Tempo de máximo de retenção (h)       | 04    |
| Temperatura de cozimento (°C)         | 85    |
| pH                                    | 06    |

Fonte: Li, Y. *et al.* (2019); Wang, P. *et al.* (2007).

O modelo de sacarificação simultânea à fermentação calcula a hidrólise do amido e a fermentação da glicose por leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, com seus principais parâmetros descritos nas Tabelas 04 e 05.

**Tabela 04** – Principais parâmetros operacionais utilizados no modelo de sacarificação.

| Símbolo          | Parâmetro                                  | Valor  |
|------------------|--|--------|
| Enz              | Concentração de enzima (U/m <sup>3</sup> ) | 262612 |
| Glu <sub>0</sub> | Teor de glicose inicial (g/L)              | 28     |
| St <sub>0</sub>  | Teor de amido inicial (g/L)                | 233    |
|                  | Tempo de SSF (h)                           | 60     |
|                  | Temperatura (°C)                           | 30     |
|                  | pH   | 4,5    |

Fonte: Białas, W. *et al.* (2014).

**Tabela 05** – Principais parâmetros utilizados no modelo de fermentação.

| Símbolo     | Parâmetro                          | Valor | Unidade           |
|-------------|------------------------------------|-------|-------------------|
|             | Massa de leveduras (g)             | 150   | g                 |
| $\mu_{max}$ | Taxa máxima de crescimento celular | 0,606 | h <sup>-1</sup>   |
| $Y_{X/S}$   | Rendimento biomassa/substrato      | 0,813 | g·g <sup>-1</sup> |
| $Y_{P/S}$   | Rendimento produto/substrato       | 0,476 | g·g <sup>-1</sup> |
| $Et_{max}$  | Produção máxima de etanol          | 90    | g·L <sup>-1</sup> |

Fonte: Białas, W., *et al.* (2014).

O modelo em questão utiliza uma cinética enzimática de Michaelis-Menten e um modelo de Monod da literatura [4], conforme o sistema de equações diferenciais ordinárias (EDOs) para a concentração de amido (St), leveduras (X), etanol (Et) e glicose (Glu) descrito nas equações 2, 3, 4 e 5.

$$\frac{dSt}{dt} = -R_{St} \quad (2)$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (3)$$

$$\frac{dEt}{dt} = q_p X \quad (4)$$

$$\frac{dGlu}{dt} = 1.111R_{St} - \left( \frac{\mu}{Y_{X/S}} + \frac{q_p}{Y_{P/S}} \right) X \quad (5)$$

As taxas de reação  $R_{St}$ ,  $\mu$  e  $q_p$  são descritas pelas Equações 6, 7 e 8, com os termos e seus valores sendo oriundos da literatura [4]. Os teores de glicose e amido são oriundos da liquefação, com seus valores contidos na tabela 04. O teor inicial de leveduras é calculado com base na massa de entrada do modelo, sendo 0,05g/L.

$$R_{St} = \frac{k_{St} \cdot Enz \cdot St}{K_m \left( 1 + \frac{Glu}{K_{Glu}} \right) + \frac{St^2}{K_{St}} + St} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot Glu \cdot \frac{St}{St_0}}{K_S + Glu} \quad (7)$$

$$q_p = \frac{q_{pmax} \cdot Glu \cdot Et \cdot \left( 1 - \frac{Et}{Et_{max}} \right)}{(K_{S1} + Glu) \cdot \left( K_{ps1} + Et + \frac{Et^2}{K_{pi}} \right)} \quad (8)$$

Após essas etapas, obtém-se os parâmetros calculados da *cerveja* — o mosto de milho fermentado — que será destilada.

Para a etapa de destilação, considera-se uma coluna de destilação em batelada, com número de pratos teóricos, razão de refluxo, capacidade da caldeira e outros dados centrados em um modelo experimental.

O modelo experimental em questão foi desenvolvido com base em um diagrama de equilíbrio líquido-vapor do sistema etanol-água [8] de modo a determinar as concentrações da vinhaça (produto de fundo) e do etanol hidratado destilado. Alguns dos principais parâmetros de entrada e saída da destilação estão contidos na Tabela 06.

**Tabela 06** – Principais parâmetros utilizados no modelo de destilação.

| Parâmetro                                     | Valor |
|---|-------|
| Volume de cerveja (m <sup>3</sup> )           | 2,634 |
| Teor alcoólico da cerveja (g/L)               | 90    |
| Teor alcoólico desejado do etanol final (°GL) | 95,5  |

Fonte: Adaptado do simulador CornV (2025).

Com base no volume de vinhaça produzido e as características do milho que entrou no processo, se obtém a massa de DDGs e de óleo de milho. Os parâmetros-chave desse modelo são originados da literatura, com alguns dos principais sendo descritos na Tabela 07.

**Tabela 07** – Principais parâmetros utilizados no modelo de centrifugação e evaporação.

| Parâmetro                     | Valor |
|-------------------------------|-------|
| Teor de proteína do milho (%) | 10,5  |
| Teor de lipídios do milho (%) | 4,5   |
| Teor de cinzas do milho (%)   | 1,5   |
| Teor de fibras do milho (%)   | 1,8   |

Fonte: Velu, V. *et al.* (2006).

Após o cálculo das etapas de destilação, centrifugação e evaporação, há a possibilidade de estimar o quanto foi gasto em matérias-primas e o quanto de receita será gerada pelos produtos por tonelada de milho.

Os parâmetros econômicos como os custos, as receitas e o balanço financeiro — EBIT — são calculados com base nos preços de mercado configuráveis pelo usuário dos produtos e insumos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desenvolveu-se a seção físico-química do simulador na linguagem de programação Python, de modo que com os dados de entrada os resultados dos cálculos fossem exibidos em uma página da internet.

Construiu-se a configuração do simulador de modo que os parâmetros de entrada como a massa de milho, enzimas, leveduras e vazão de vinho, além de outros parâmetros dos modelos fossem configuráveis pelo usuário.

Como demonstrado na Figura 02, o módulo de moagem apresenta um gasto de energia esperado pelos dados da literatura [6] com base no tamanho médio de entrada dos grãos, 4,22mm; e saída, 0,13mm; ideais para o mosto de milho [9] e condizente com o tamanho médio dos grãos.

**Figura 02** – Resultado apresentado pelo módulo de moagem.

| Moagem   |              |
|----------|--------------|
| Milho:   | 1000.0000 kg |
| Moido:   | 1000.0000 kg |
| Energia: | 2637.13 kWh  |

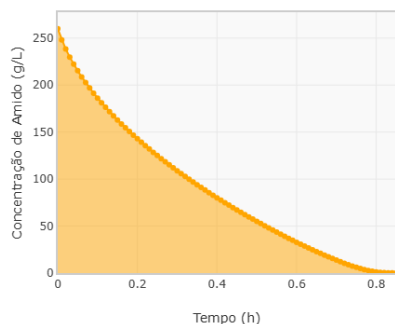
**Fonte:** Adaptado do simulador CornV (2025).

O modelo de liquefação determinou que foram necessários aproximadamente 50 minutos para hidrolisar o amido presente em solução em dextrinas ao utilizar 20g de enzima para 1 tonelada de milho, um tempo abaixo das duas horas realizadas em ensaios *in vitro* [7].

Utilizar a metade da massa de enzima para a liquefação, 10g de  $\alpha$ -amilase, aumenta o tempo de 50 minutos para aproximadamente 1h e 44 minutos, um aumento de 108% no tempo de liquefação, como pode ser observado nas Figuras 03 e 04.

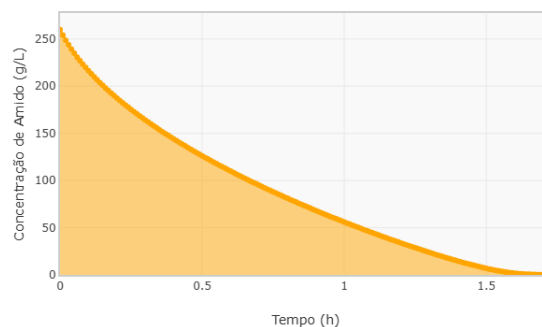
O tempo de processo necessário ao gastar 20g de enzima é condizente com a realidade industrial, que demanda um processo de resfriamento após o cozimento à 85°C do *slurry* até aproximadamente 35°C para iniciar-se a SSF [7].

**Figura 03** – Processo de liquefação ao usar 20g de  $\alpha$ -amilase



**Fonte:** Adaptado do Simulador CornV (2025).

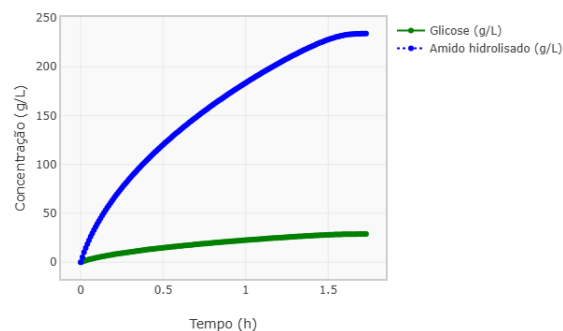
**Figura 04** – Processo de liquefação ao usar 10g de  $\alpha$ -amilase



**Fonte:** Adaptado do simulador CornV (2025).

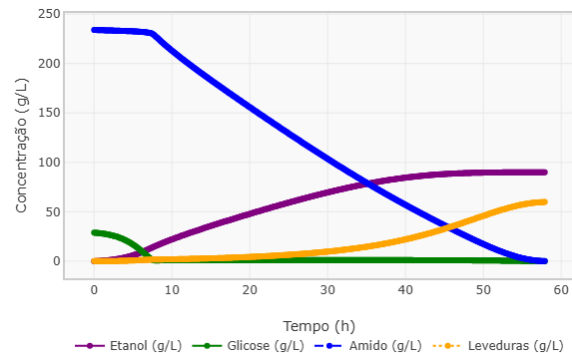
Como observado na Figura 05, geraram-se 233 g/L de amido e 28 g/L de glicose, na mesma ordem de grandeza descrita pela literatura para um mosto preparado com 26% de sólidos [4].

**Figura 05** – Teor de açúcares gerados pela liquefação.



**Fonte:** Adaptado do Simulador CornV (2025).

**Figura 06** – Concentração de biomassa, etanol e açúcares (g/L) no decorrer do tempo de SSF.



**Fonte:** Adaptado do simulador CornV (2025).

Com base no conteúdo da Figura 06, percebe-se que a glicose é bastante utilizada durante a SSF na propagação das leveduras, gerando menos etanol nas 5 primeiras horas. Após esse período, entre a 6ª e a 45ª hora, há a maior produção de etanol, pela hidrólise das cadeias carbônicas pela enzima glucoamilase e liberação de glicose para a fermentação.

Da 46ª à 60ª hora, a produção de etanol aumenta com menor taxa de variação. Devido ao fato de o modelo de crescimento celular não modelar a morte das leveduras, o modelo nos informa que os açúcares finais são bastantes utilizados para a reprodução desses microrganismos.

Após o cálculo das etapas de destilação, centrifugação e evaporação, há a exibição dos custos, receitas e do balanço final, conforme visualizado na Figura 07, gerados pela multiplicação das quantidades produzidas por seu preço de mercado — atualizados em novembro de 2025.

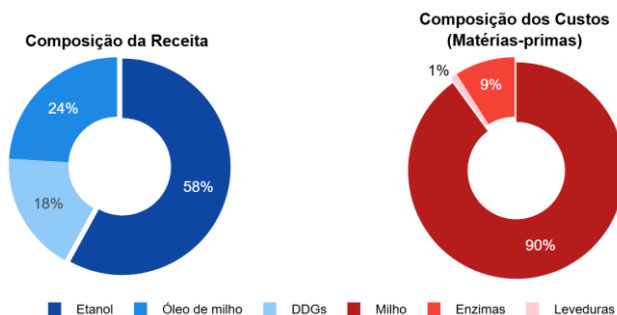
**Figura 07** – Demonstração do EBIT por tonelada de milho.



**Fonte:** Adaptado do simulador CornV (2025).

Conforme demonstrado na Figura 08, após o cálculo do EBIT, o modelo nos afirma que 58% da receita vem da produção de etanol, enquanto 24% vem da venda de óleo de milho e 18% vem do DDGs. Além disso, também pode-se deduzir que 90% dos custos com matérias-primas são com o milho, enquanto 9% são das enzimas e 1% é das leveduras.

**Figura 08** – Composição dos custos e receitas das matérias-primas e produtos.



**Fonte:** Autores (2025).

Logo, pode-se afirmar que a margem de lucro operacional por tonelada de milho é de aproximadamente 33%, um valor condizente com projeções econômicas [10], que estimam que a margem média da safra 2025/2026 estaria entre 19% à 34,7%.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos estão alinhados com o esperado e confirmam a boa performance do modelo desenvolvido. Os parâmetros utilizados têm como base dados provenientes da literatura, os quais servem adequadamente para validações iniciais.

Ainda assim, a realização de experimentos adicionais em biorreatores e plantas-piloto permitirá o refinamento de determinados parâmetros, promovendo uma calibração mais precisa da simulação frente às condições reais de

operação. A incorporação de dados experimentais ampliará a representatividade do modelo e sua capacidade preditiva.

Portanto, o simulador cumpre plenamente os objetivos propostos e se apresenta como uma ferramenta sólida de análise e previsão que engloba todas as principais etapas produtivas do etanol de milho e seus co-produtos. As próximas etapas — voltadas à integração de dados empíricos — contribuirão para elevar ainda mais sua precisão e aplicabilidade industrial.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] BIAZUS, Joana Paula Menezes; SANTANA, José Carlos Curvelo; SOUZA, Roberto Rodrigues de; TAMBOURGI, Elias Basile. Purificação de amilases de malte de Zea mays. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 218–223, jan.–mar. 2010.
- [2] NEVES, Marcos Fava. Prefácio 1. *In*: NEVES, Marcos Fava (org.). **Etanol de milho**: cenário atual e perspectivas para a cadeia no Brasil. Ribeirão Preto, SP: UNEM, 2021. p. 18-19.
- [3] BRASIL. Lei do Combustível do Futuro: Lei nº 14.993, de 30 de agosto de 2024. Institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação, o Programa Nacional de Diesel Verde e altera as Leis nº 9.478/1997, nº 9.847/1999 e nº 11.097/2005, entre outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2 set. 2024. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/lei/L14993.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14993.htm). Acesso em: 28 out. 2025.
- [4] BIAŁAS, Wojciech; CZERNIAK, Adrian; SZYMANOWSKA-POWAŁOWSKA, Daria. Kinetic modeling of simultaneous saccharification and fermentation of corn starch for ethanol production. **Acta Biochimica Polonica**, v. 61, n. 1, p. 153–162, 2014.
- [5] PYTHON Software Foundation. Welcome to Python.org. Disponível em: <https://www.python.org/>. Acesso em: 30 out. 2025.
- [6] VELU, V.; NAGENDER, A.; PRABHAKARA RAO, P.G.; RAO, D.G. Dry milling characteristics of microwave dried maize grains (*Zea mays* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 1, p. 30–36, 2006.
- [7] WANG, Ping *et al.* Comparison of Raw Starch Hydrolyzing Enzyme with Conventional Liquefaction and Saccharification Enzymes in Dry-Grind Corn Processing. **Cereal Chemistry**, v. 84, n. 1, p. 10-14, 2007. DOI: 10.1094/CCHEM-84-1-0010.
- [8] MACIEL, J. C. da S. L. **Estudo do equilíbrio líquido-vapor do sistema água + etanol + líquido iônico visando a separação do álcool anidro**. 2012. 131 F. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- [9] LI, Yanjun *et al.* **Process for producing ethanol fuel by using corn starch as raw material**. Patente Mundial nº WO 2019/154110 A1. Publicada em 15 ago. 2019.
- [10] DATAGRO. Indústria de etanol de milho deve ter margem mais alta em 2025/2026. **Novacana**, 23 jun. 2025. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/industria-etanol->

## ITINERÁRIO FORMATIVO VERTICALIZADO EM QUÍMICA

milho-retomar-folego-margem-alta-2025-26-datagro-230625. Acesso em: 03 nov. 2025.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao Eduardo Borges, da Fermentec, pelo conhecimento compartilhado sobre modelos e estatística.

Ao Mateus Monteiro, que iniciou o projeto conosco, mas teve de ausentar-se para se dedicar a outros projetos e objetivos de vida.

Por último, mas não menos importante, à Fermentec, pelo desafio e incentivo, pois é frente aos obstáculos no caminho do desenvolvimento científico que se desenvolve a ciência de maior qualidade.

# USO DA FIBRA DE COCO NA FILTRAÇÃO E ADSORÇÃO DE IMPUREZAS NO CALDO DE CANA

Arthur Araújo Lima<sup>1</sup>, Beatriz Vitória Souza Oliveira<sup>1</sup>, Luis Henrique Balaminute<sup>1</sup>, Mariana Leite Grune<sup>1</sup>, Prof. Dra. Cristine do Carmo Schmidt Bueno de Moraes<sup>1</sup>, Eng. Glauco Martins de Mello Junior<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan

<sup>2</sup>SOLENIS

f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

Com o agravamento dos impactos ambientais, em conjunto com o aumento do número de queimadas e secas, a qualidade da cana de açúcar vem se deteriorando ao longo dos anos, com isso vê-se surgindo cada vez mais métodos de purificação para o caldo de cana.

O teor de impurezas é um dos principais fatores que influenciam a cristalização do açúcar, e o aumento de minerais no solo devido à queima, também resulta no aumento de minerais na cana, com a qualidade do açúcar cristal sendo intrinsecamente relacionada ao solo. Conforme se encontra na literatura [1][2], impurezas orgânicas e inorgânicas presentes no caldo influenciam diretamente o processo de cristalização, reduzindo o rendimento de açúcar cristal.

Uma opção promissora de purificação para o caldo é a fibra de coco, devido a sua abundância na região norte do Brasil, e por possuir propriedades adsorventes comprovadas [3][4][5]. Isto a torna uma opção economicamente viável e sustentável em comparação com o carvão ativado, que é amplamente utilizado, porém de impacto negativo ao meio ambiente, além de possuir alto custo e ser de difícil reutilização.

A utilização da fibra de coco como filtro, permite um reaproveitamento agroindustrial, reduzindo impactos ambientais, podendo também, devido às suas propriedades, ser reutilizada após o processo como fertilizante, já que é uma ótima combinação de matéria orgânica e minerais essenciais para o desenvolvimento de plantas. A adoção desta técnica tem o potencial de auxiliar o setor sucroenergético a atender a padrões mais elevados de qualidade, de maneira sustentável e inovadora em comparação com as técnicas utilizadas atualmente.

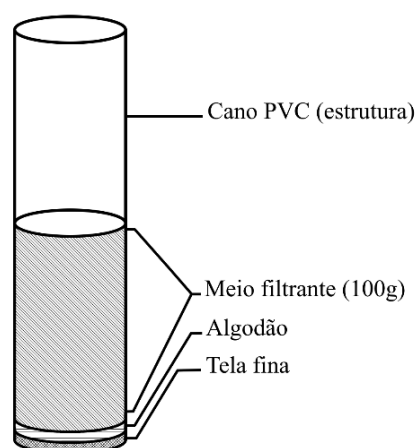
O estudo teve como objetivo principal avaliar a eficiência da fibra de coco na purificação do caldo de cana, comparando-a com o carvão ativado e verificando sua capacidade de adsorver impurezas em diferentes condições. Busca-se, assim, obter um caldo mais puro e favorecer a cristalização do açúcar, impactando positivamente nos padrões de qualidade exigidos pelo mercado consumidor nacional e internacional [2].

## 2. METODOLOGIA

Amostras de caldo, preparadas com melaço de cana de açúcar diluído em água destilada até atingir 40° Brix em refratômetro de bancada, foram expostas a dois diferentes sistemas filtrantes, sendo que ambos utilizaram a fibra de coco como meio filtrante. O primeiro meio filtrante constituiu-se de um sistema de filtração por gravidade, onde foram utilizadas diferentes formas da fibra, sendo a pulverizada e a picotada (em filtros separados), além de um

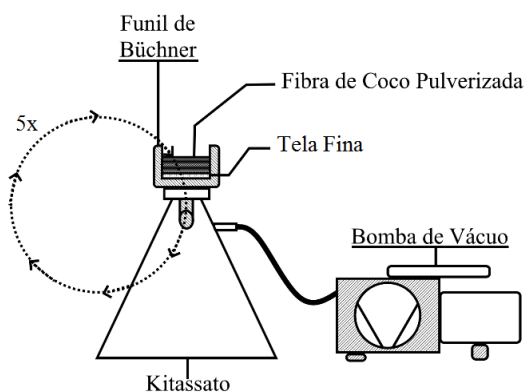
filtro adicional produzido com carvão ativado a fim de comparar o potencial dos materiais. Os sistemas estão apresentados nos esquemas ilustrados nas Figuras 01 e 02. Ademais, foram realizadas análises de minerais por sistema de ICP-OES, de potássio por fotômetro de chamas e determinação de minerais por cinzas para comprovar a eficácia da fibra como adsorvente.

**Figura 01** – Sistema de Filtração por Gravidade



Fonte: Autoria própria.

**Figura 02** – Sistema de Filtração a Vácuo



Fonte: Autoria própria.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a realização do experimento, percebeu-se que no processo de filtração por gravidade houve uma retenção muito grande das amostras nos meios filtrantes, principalmente devido a um excesso de meio filtrante, para pouco caldo filtrado. Por esse motivo, foi decidido descartar os resultados das amostras do meio filtrante analisadas por ICP-OES, uma vez que apresentam saturação.

Entretanto, os outros resultados desta análise, as amostras de filtrado demonstraram resultados bem interessantes. Na Tabela 01, observa-se que a fibra de coco teve capacidade de remover metais pesados, apesar de também soltar alguns minerais no caldo.

**Tabela 01 - Resultados Obtidos por ICP-OES**

| Amostra | Ca       | K         | Mg       | Na      | Fe       | Mn       | Zn       | Al       |
|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| ACB     | 214<br>0 | 1640<br>0 | 262<br>0 | 14<br>7 | 40,<br>2 | 6,3<br>6 | 2,3<br>4 | 17,<br>9 |
| ACFF    | 202<br>0 | 1730<br>0 | 273<br>0 | 67<br>5 | 32,<br>6 | 7,4<br>4 | 3,9<br>9 | 16,<br>5 |
| ACFG    | 214<br>0 | 1730<br>0 | 278<br>0 | 52<br>9 | 38,<br>1 | 7,2<br>8 | 3,5<br>1 | 16,<br>7 |
| ACCA    | 201<br>0 | 1780<br>0 | 293<br>0 | 16<br>7 | 17,<br>9 | 98,<br>3 | 2,5<br>9 | 9,0<br>5 |

**Legenda:** Valores em ppm (mg/Kg). ACB: Amostra de caldo branco (sem filtração), ACFF: Amostra de caldo filtrado em fibra de coco fina, ACFG: Amostra de caldo filtrado em fibra de coco grossa e ACCA: Amostra de caldo filtrado em carvão ativado.

**Fonte:** Autoria Própria.

Nos resultados apresentados, percebe-se um aumento de potássio, magnésio, sódio, manganês e zinco nas amostras, enquanto há uma leve redução de cálcio, ferro e alumínio. Observa-se também que apesar de possuir um potencial como adsorvente, a fibra de coco ainda não supera o carvão ativado, que demonstra um potencial muito maior como adsorvente, apesar de propriedades extremamente semelhantes a da fibra. O único ponto negativo a se considerar no carvão ativado é o grande pico de manganês obtido na amostra após seu uso como filtrante. Porém este resultado pode surgir de uma contaminação no filtro ou até mesmo da formulação do carvão utilizado, portanto não é possível afirmar com exatidão o significado deste resultado específico.

Como dito anteriormente, esta análise também forneceu dados sobre a composição da fibra, porém estes foram descartados. A propósito de observar o potencial adsorvente da fibra mais a fundo, um segundo experimento foi realizado, utilizando-se da filtração a vácuo, no qual as amostras obtidas foram levadas a duas análises, determinação de minerais por cinzas e potássio por fotometria de chama. Os resultados obtidos em ambas as análises se encontram nas Tabelas 02 e 03 a seguir.

Os resultados apresentados na tabela 02 indicam que houve na fibra um claro aumento na massa de cinzas (matéria inorgânica, ou seja, minerais) da amostra branca para a utilizada como filtro, indicando assim que houve algum tipo de retenção de minerais. As amostras de caldo

apresentam valores similares, indicando provavelmente uma saturação da fibra, causando uma incapacidade de adsorver todos os minerais do caldo enquanto o próprio filtrado absorve minerais do meio.

**Tabela 02 – Resultados Obtidos por Cinzas**

| Amostras                        | Massa Cinzas (mg/5g) |
|---------------------------------|----------------------|
| Fibra Branco I                  | 323,6                |
| Fibra Branco II                 | 324,4                |
| Fibra Branco III                | 327,1                |
| Fibra Utilizada como Filtro I   | 404,0                |
| Fibra Utilizada como Filtro II  | 425,7                |
| Fibra Utilizada como Filtro III | 432,1                |
| Caldo Branco I                  | 179,9                |
| Caldo Branco II                 | 202,6                |
| Caldo Branco III                | 170,1                |
| Caldo Filtrado I                | 207,7                |
| Caldo Filtrado II               | 205,2                |
| Caldo Filtrado III              | 208,9                |

**Fonte:** Autoria Própria.

Verifica-se que este resultado se deve provavelmente à proporção entre meio filtrante e filtrado. A Tabela 03 reforça esta hipótese, demonstrando um aumento de potássio nas amostras filtradas.

**Tabela 03 – Resultados Obtidos por Fotometria de Chama**

| Amostras       | Massa Potássio (mg/5g) |
|----------------|------------------------|
| Caldo Branco   | 187,9                  |
| Caldo Filtrado | 193,9                  |

**Fonte:** Autoria Própria.

Além disso, este resultado confirma mais uma vez (junto dos resultados da análise por ICP-OES) que o mineral em maior abundância no caldo é de fato o potássio. Uma alternativa para a resolução deste problema de saturação e também de passagem de minerais do meio para o filtrado é o uso da fibra de coco em combinação com resinas de troca iônica, materiais muito utilizados para o tratamento de efluentes e até mesmo em alguns medicamentos. Uma sugestão em especial seria o poliestireno sulfonado de sódio (PSS), muito utilizado para processos de adsorção de potássio<sup>[6]</sup>. Entretanto seria necessário o cuidado e estudo de uma proporção ideal para evitar a saturação dos meios filtrantes

### 4. CONCLUSÕES

De modo geral, a fibra de coco se mostrou uma alternativa sustentável e promissora como meio filtrante, principalmente por ser biodegradável, além de ser um resíduo reaproveitado. Mesmo não sendo tão eficiente quanto o carvão ativado, ela demonstrou potencial significativo na remoção de metais pesados e pode se tornar ainda mais eficaz quando combinada com outros materiais filtrantes. O estudo também mostrou que a fibra

em sua forma pulverizada é mais eficiente, e que o maior desafio é evitar sua saturação, permitindo que ela continue adsorvendo minerais por mais tempo.

Essa alternativa sustentável é importante, já que o mercado e a indústria buscam cada vez mais soluções ecológicas e de baixo impacto ambiental.

Este estudo também deixa suas portas abertas para interessados em seu prosseguimento, já que cada vez mais opções sustentáveis são vistas como necessárias no mercado, e a fibra de coco demonstra potencial de se tornar um destaque, mesmo que a primeiro momento não seja tão eficiente quanto seu maior concorrente, o carvão ativado.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] SOUZA, F. Influence of juice impurities on sugar crystallization. **Journal of Sugar Technology**, 2005.
- [2] ALMEIDA, L.; SILVA, R. Impurity effects on sucrose crystallization: a review. **Sugar Tech Journal**, 2008.
- [3] SILVA, K. M. D. *et al.* Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 43-50, 2013.
- [4] UCHOA, P. K. S. *et al.* Adsorption of chromium ions using coconut fiber. **Journal of Environmental Management**, 2007.
- [5] MONTEIRO, R. A. **Evaluation of coconut fiber for metal biosorption**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.
- [6] RODRIGUES FILHO, G. *et al.* Síntese de poliestireno sulfonado para aplicações no tratamento de água produzido a partir de copos e bandejas descartadas de poliestireno. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2004-2008, 2008.

## AGRADECIMENTOS

A Fatec Dep. Roque Trevisan e a Mériux Nutrisciences pelo fornecimento de equipamentos e análises, a Solenis pelo fornecimento de reagentes apoio criativo e metodológico, e a Etec Cel. Fernando Febeliano da Costa pelo fornecimento e auxílio com o manuseio do fotômetro de chama.

# UTILIZAÇÃO DOS INIBIDORES NBPT E DCD INCORPORADOS VISANDO REDUZIR PROCESSOS DE PERDAS DE NITROGÊNIO

Beatriz Degaspari<sup>1</sup>, Daniel Ferreira<sup>1</sup>, Henrique Faganello<sup>1</sup>, Isabelly Silva<sup>1</sup>, João Paschoalini<sup>1</sup>, Eduardo Mariano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa

<sup>2</sup>CENA/USP

wagner.ferreira@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais empregado mundialmente, sendo responsável por 73,4% do N aplicado [1]. Entretanto, o manejo inadequado desse insumo impacta diretamente no custo e qualidade do sistema, devido a perdas por lixiviação e emissões de compostos nitrogenados reativos (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>) [2].

Visando reduzir essas perdas, os inibidores de urease (UIs) e os inibidores de nitrificação (NIs) são adicionados ao fertilizante para retardar esses processos [3]. Dentre os UIs, o N-(n-Butyl)thiophosphoric triamide (NBPT) possui alta eficiência em diminuir a atividade da urease em pH ácido [4]. Em adição, o NI dicianodiamida (DCD) é um composto solúvel com 65% de N, responsável por retardar o efeito da nitrificação [5].

Em contrapartida, a utilização desses inibidores em conjunto pode apresentar limitações, devido a inibição da nitrificação, fazendo com que o pH do solo se eleve e valores maiores de volatilização sejam atingidos [6].

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar diferentes formas de aplicação desses inibidores sob o grânulo de ureia, possibilitando o monitoramento de novas formulações.

## 2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, em Piracicaba (SP), utilizando solo Latossolo Vermelho coletado na camada de 0–20 cm. As amostras de solo foram secas, peneiradas e distribuídas em recipientes com 800 g de solo, e mantidas com 60% da capacidade máxima de retenção de água. O delineamento foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições: (T1) ureia convencional; (T2) ureia com DCD revestido; (T3) ureia com NBPT revestido; (T4) ureia com NBPT+DCD revestido; (T5) ureia com DCD+NBPT incorporado; (T6) ureia com DCD incorporado.

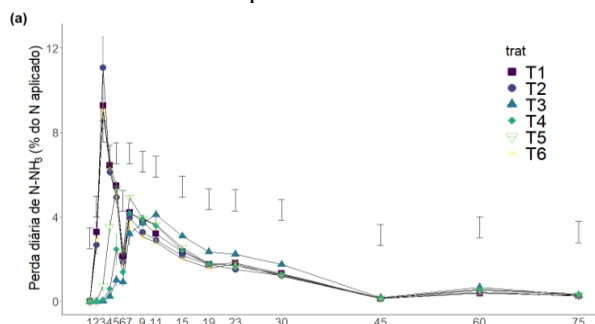
As formulações revestidas utilizaram melão como fixador dos inibidores, nas incorporadas, os inibidores foram granulados em conjunto com a ureia. A dose aplicada foi equivalente a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. As perdas foram capturadas por armadilhas contendo ácido sulfúrico 0,25 mol L<sup>-1</sup>, trocadas em diferentes intervalos até 75 dias após a aplicação. O NH<sub>3</sub> retido foi quantificado por FIA, e os dados foram analisados estatisticamente no RStudio (teste de Tukey, p ≤ 0,05).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados mostraram variações significativas entre os tratamentos. A ureia sem inibidor apresentou as maiores

taxas de volatilização, com picos nos primeiros dias após a aplicação. O DCD isolado teve desempenho semelhante à ureia convencional, confirmando sua ação mais voltada à nitrificação do que à volatilização. Já o NBPT revestido reduziu consideravelmente as perdas, retardando os picos de emissão e estabilizando os valores após a primeira semana. Observou-se que a combinação NBPT+DCD revestido apresentou resultados semelhantes ao NBPT revestido, enquanto o NBPT+DCD incorporado se diferenciou.

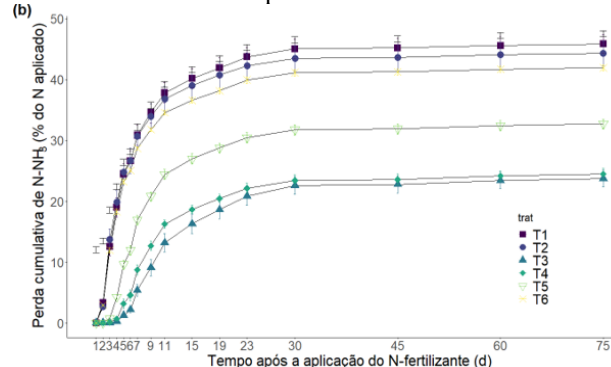
Gráfico 1 – Gráfico de perdas diárias.



Fonte: Arquivo pessoal, 2025.

As perdas cumulativas confirmaram essa tendência: ureia e ureia+DCD tiveram perdas superiores quando comparados aos outros tratamentos, enquanto NBPT revestido e NBPT+DCD revestido apresentaram perdas semelhantes e inferiores ao NBPT+DCD incorporado, que mostrou maior volatilização. A ureia incorporada com os inibidores mostrou leve aumento nas perdas, sugerindo que o revestimento superficial promove maior eficiência na redução das perdas por volatilização.

Gráfico 2 – Gráfico da perda cumulativa



Fonte: Arquivo pessoal, 2025.

Quanto ao pH, observou-se elevação nas parcelas sem inibidor e com DCD, seja ele revestido ou incorporado. Já as parcelas que tiveram o inibidor NBPT, apresentaram valores menores quando comparados aos outros tratamentos.

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização dos inibidores NBPT e DCD incorporados ou revestidos à ureia demonstrou efeitos distintos sobre as perdas de nitrogênio. O NBPT revestido apresentou o melhor desempenho, reduzindo as perdas por volatilização e estabilizando o pH do solo. A combinação NBPT+DCD revestido desempenhou menores perdas, enquanto a forma incorporada resultou em maiores perdas. O DCD aplicado isoladamente à ureia não promoveu resultados positivos para a volatilização, independentemente da forma de aplicação.

Nas condições de incubação desse estudo, a aplicação de inibidores na forma de revestimento demonstrou maior eficiência que a incorporação, demonstrando que a forma de aplicação influenciou diretamente a dinâmica desses compostos. Conclui-se que o uso de NBPT, isolado ou associado ao DCD, é uma estratégia promissora para aumentar a eficiência do uso do nitrogênio, reduzir impactos ambientais e otimizar o custo-benefício dos fertilizantes nitrogenados.

Recomenda-se que estudos futuros sejam conduzidos em condições de campo e com diferentes culturas para avaliar o comportamento dos inibidores sob diferentes variações de temperatura, umidade e manejo do solo.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] MOTASIM, A. M. *et al.* Urea application in soil: processes, losses, and alternatives—a review. **Discover Agriculture**, v. 2, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00060-z>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- [2] XU, G.; FAN, X.; MILLER, A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 153–182, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- [3] SIEDT, M. *et al.* Effects of urease inhibitor 2-NPT and nitrification inhibitors DMPP and MPA on soil microbial communities: an incubation study. **Environmental Sciences Europe**, v. 38, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12302-026-01334-7>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- [4] ENGEL, R.; TOWEY, B.; GRAVENS, E. Degradation of the urease inhibitor NBPT as affected by soil pH. **Soil Science Society of America Journal**, v. 79, n. 6, p. 1674–1683, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.05.0169>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- [5] AMBERGER, A. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and outlook. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 20, n. 17-18, p. 1933–1955, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103628909368195>. Acesso em: 16 fev. 2026.

- [6] MARIANO, E. *et al.* Ammonia losses following surface application of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers and urea. **Atmospheric Environment**, v. 203, p. 16–24, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.003>. Acesso em: 16 fev. 2026.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) pelo apoio acadêmico e estrutural concedido durante toda a pesquisa, o que tornou possível sua realização. Em seguida, agradecemos aos professores do curso Técnico em Química por compartilharem seus conhecimentos e habilidades, essenciais para a execução das tarefas necessárias, em especial aos professores Eduardo Antedomenico e Wagner Fernando Ferreira. Por fim, expressamos nossa gratidão à Fermentec e à Merieux pelo apoio oferecido ao longo do curso, de extrema importância para nossa formação profissional.

# VALORIZAÇÃO DA PALHA DO MILHO: SUSTENTABILIDADE E BIOECONOMIA CIRCULAR

*Isabela Vendramini Cristal<sup>1</sup>, Matheus Augusto de Oliveira Custodio<sup>1</sup>, Cauã Eduardo Barbosa Leopoldo<sup>1</sup>,  
Maria Eduarda Souza Gonçalves<sup>1</sup>, Profa. Dra. Karina C. Rebelo<sup>1</sup>, Profa. Dra. Ana Lúcia S. Pincelli<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan  
f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

O milho é cultivado em praticamente todo o território nacional e sua espiga é composta pelos grãos, sabugo e palha. A porcentagem desses componentes secos na espiga é respectivamente 70%, 15% e 15% podendo variar de acordo com a espécie [1].

A palha de milho é uma fibra natural do tipo lignocelulósica e possui em sua composição aproximadamente 41% de celulose, 16% de hemicelulose, e cerca de 14% de lignina. Esse material é considerado um resíduo agrícola, sendo de pouco proveito na geração de renda, e resultando geralmente em sua incineração [2] [3].

Com a crescente demanda por combustíveis no mundo, viu-se a necessidade de buscar fontes energéticas alternativas, como por exemplo, os biocombustíveis. Como resposta, o etanol à base de milho foi incluído na matriz de biocombustíveis nacionais [4].

Na safra 2022/2023 a produção de etanol de milho aumentou para 4,45 bilhões de litros com um rendimento de 407 litros de etanol por tonelada de milho [5] [6]. A partir disso, estima-se que para produzir 4,5 bilhões de litros de etanol são utilizados aproximadamente 11 milhões de toneladas de milho. Sabendo-se que 15% do peso do milho é constituído por palha, pode-se afirmar que para produzir essa quantidade de etanol, foram geradas aproximadamente 1,6 milhões de toneladas de palha.

A trajetória da produção de etanol de milho no Brasil está diretamente ligada ao desenvolvimento de setores produtivos na região Centro-Oeste. Os aumentos contínuos em área plantada e os ganhos de produtividade nessa região, permitiram que setores dependentes de milho encontrassem estabilidade na disponibilidade do grão [4].

Além disso, o Centro-Oeste e estados próximos a essa região, possuem volumes consideráveis de rebanhos, especialmente da bovinocultura para corte e leite. Isso explica a maior demanda nessas regiões pelos coprodutos do processo de etanol de milho conhecidos como *distillers grains*, já que esses coprodutos têm participação na ração de ruminantes [4].

A maioria das usinas que produzem etanol de milho no território brasileiro são flex, o que significa que elas conseguem processar tanto cana-de-açúcar, quanto milho para a produção de etanol. Essas unidades podem ser classificadas como integradas-compartilhadas e integradas-dedicadas. A diferença entre as duas reside no período em que o etanol de milho é produzido, sendo que na usina integrada-compartilhada a produção é feita apenas na entressafra da cana-de-açúcar. Enquanto na usina integrada-dedicada o etanol é produzido a partir de ambas as matérias-primas simultaneamente [4].

A produção mundial de cana-de-açúcar é liderada pelo Brasil, já que é uma das principais culturas brasileiras. O

início de sua produção com os fins de fazer etanol, traz consigo desafios relacionados ao gerenciamento da vinhaça. Esse resíduo é o mais abundante proveniente da produção de etanol de cana-de-açúcar, podendo ser feito em média 12 litros de vinhaça para cada litro de etanol [7].

Dado o elevado preço nos custos relacionados aos fertilizantes, a vinhaça acaba se tornando cada vez mais atrativa, já que é um resíduo rico em potássio, um macronutriente essencial às plantas [8].

Mesmo com a preocupação quanto aos impactos ambientais causados pela vinhaça, os avanços nas normas que tratam sobre o manejo desse material encontram um certo limite, visto que essas normas foram elaboradas apenas para métodos tradicionais [7].

A fertirrigação da cana-de-açúcar utilizando a vinhaça como fonte de nutrientes essenciais para as plantas contribui para a diminuição no custo de fertilizantes. Mas, se aplicada sem os critérios adequados de dosagem e irrigação, a vinhaça pode se tornar prejudicial ao meio ambiente [9].

Dada a rica composição da vinhaça em matéria orgânica, sua presença na água resultaria na redução de OD (Oxigênio Disponível) além do aumento nas taxas de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e potássio. Ademais, a presença de vinhaça nas águas pode acarretar na diminuição do pH, tornando o ambiente nocivo para a fauna e flora [9].

Quando a vinhaça é aplicada em doses acima do limite permitido nos solos, pode acarretar no aumento dos teores de potássio. Isso faz com que o local perca progressivamente a sua capacidade de retenção, gerando perdas por lixiviação e por consequência, o aumento nas concentrações de sólidos totais dissolvidos [9].

Portanto é necessário a busca por tratamentos da vinhaça que consigam diminuir sua elevada carga orgânica e, amenizar os impactos causados por ela. Como alternativa para esse tratamento, tem-se o uso do carvão ativado, um material de baixo custo e eficaz de devolver à indústria uma vinhaça tratada [10].

Assim, diante do cenário acima exposto, se torna interessante a integração da cadeia do milho com a cadeia da cana-de-açúcar, quando o objetivo é agregar valor à palha de milho a fim de purificar a vinhaça proveniente da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar.

## 2. METODOLOGIA

Foram compradas espigas de milho (*Zea mays L*) proveniente de uma produtora localizada na região rural de Piracicaba – estado de São Paulo, Brasil. As espigas foram colocadas em estufa a 60°C por 24h a fim de realizar uma desidratação.

Para a produção do carvão fisicamente ativado cerca de 20g de palha foram fragmentadas e colocadas em cadinhos

de porcelana, para assim serem submetidas à pirólise em um forno mufla. Segue abaixo a Tabela 01 que apresenta os dados dessa ativação.

**Tabela 01 – Pirólise do Carvão Fisicamente Ativado**

| Faixa de Temperatura |            |
|----------------------|------------|
| Temperatura (°C)     | Tempo      |
| 200 °C               | 15 minutos |
| 250 °C               | 15 minutos |
| 300 °C               | 15 minutos |

Fonte: Autores, 2025.

Afim de realizar a ativação, o material pirolisado foi colocado em uma autoclave. Isso foi feito seguindo o protocolo padrão do procedimento de esterilização, ou seja, o material foi mantido a 121°C por 30 minutos em uma pressão de 1 atm.

Para realizar a ativação química cerca de 30g de palha foram colocadas em um béquer de 500mL juntamente com 30mL de uma solução de ácido fosfórico a 85%. Água destilada foi adicionada até o material estar submerso, e esse béquer foi colocado sobre uma chapa de aquecimento em temperatura de 80°C e agitação constante por 2 horas. Passado o tempo, o material foi filtrado e colocado em uma estufa a 60 °C por 24h para que fosse totalmente desidratado. Depois desse período, o material foi colocado em cadinhos de porcelana e se seguiu para pirólise em forno mufla. Na tabela 02 estão presentes os dados dessa pirólise.

**Tabela 02 – Pirólise do Carvão Quimicamente Ativado**

| Faixa de Temperatura |            |
|----------------------|------------|
| Temperatura (°C)     | Tempo      |
| 250 °C               | 15 minutos |
| 300 °C               | 15 minutos |
| 400 °C               | 15 minutos |

Fonte: Autores, 2025.

Após as ativações, ambos os carvões foram macerados em um almofariz, com o objetivo de aumentar a área de contato superficial. Depois desse processo, o material passou por um processo de lavagem por filtração simples a fim de remover as possíveis impurezas remanescentes.

Para a etapa de purificação, empregou-se álcool etílico a 70% e uma solução saturada de bicarbonato de sódio. Após a filtração, os carvões foram novamente levados à estufa e submetidos à secagem por um período de 24 horas, assegurando a completa desidratação.

O teste de adsorção dos carvões produzidos foi realizado com azul de metileno. Foi preparada uma solução padrão de azul de metileno 1,5 mg.L<sup>-1</sup> em água destilada, apresentando coloração azul intensa. Em seguida, uma pequena quantidade dos dois carvões ativados foi colocada em Erlenmeyers separados, aos quais foram adicionadas a solução colorida. As misturas foram mantidas sob agitação manual por alguns minutos e, em seguida foi realizada uma filtração simples para obter o filtrado incolor.

Com o intuito de avaliar a capacidade adsorviva dos carvões ativados obtidos frente à vinhaça, foi realizado o procedimento de purificação da mesma pelo processo de filtração. A amostra de vinhaça de cana de açúcar foi cedida pela Fermentec em meados de maio. O efluente foi armazenado congelado para evitar que fungos se desenvolvessem e que o material não se degradasse.

Antes da vinhaça passar pela purificação nos carvões, inicialmente foi empregado um tratamento físico-químico para vinhaça usando-se o *jar test* e agentes coagulantes e floculantes, como o sulfato de alumínio (AlSO<sub>4</sub>) e o óxido de cálcio (CaO). Foi estabelecido 120 rpm para o *jar test*, também em paralelo foi preparado soluções dos agentes químicos na concentração 15 g.L<sup>-1</sup>. Para o teste, foram feitas duplicadas das amostras sendo 250mL de amostra para 4 béqueres de 500mL. Mediu-se o pH da vinhaça para que houvesse o ajuste e que ocorresse de fato o processo de coagulação e floculação. Segue abaixo a Tabelas 3 que apresenta os dados dessa medição.

**Tabela 03 – pH da vinhaça**

| Béquer                          | pH    | Temperatura °C |
|---------------------------------|-------|----------------|
| 1 – Carvão ativado fisicamente  | 4,664 | 21,5 °C        |
| 2 – Carvão ativado fisicamente  | 4,693 | 21,7 °C        |
| 3 – Carvão ativado quimicamente | 4,680 | 21,5 °C        |
| 4 – Carvão ativado quimicamente | 4,682 | 21,5 °C        |
| Média pH                        | 4,680 |                |

Fonte: Autores, 2025.

Após a medição do pH, o Jar Test foi ligado a fim de homogeneizar os agentes coagulantes à vinhaça. O hidróxido de sódio foi utilizado inicialmente para alcalinizar o meio, e posteriormente foi adicionado o sulfato de alumínio até alcançar o pH 11. Depois de 1 hora em constante agitação, observou-se a formação de flocos no fundo dos béqueres.

Passado 24 horas as amostras foram submetidas a filtrações a vácuo. Após isso, as amostras foram colocadas em quatro novos béqueres, dois deles contendo 2g de carvão fisicamente ativado, e dois contendo 2g de carvão quimicamente ativado. Os béqueres passaram pela incubadora shaker durante 1 hora em 120 rpm e, em seguida, foram armazenados e refrigerados durante 24 horas. Passado esse tempo, as amostras passaram pela filtração a fim de remover e recuperar o carvão ativado.

Para realizar a análise de potássio através do fotômetro de chama, o material foi levado até o laboratório de química da Etec Coronel Fernando da Costa em Piracicaba – Estado de São Paulo, Brasil. Após a transportação do material, o equipamento da marca Analyser, modelo 910MS, foi calibrado usando uma solução padrão de calibração de concentração de 100ppm ou 100 mg.L<sup>-1</sup> de Cloreto de potássio.

Para que essa análise fosse feita, as amostras foram diluídas em 100 vezes para que não ultrapassasse o LD (limite de detecção).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### Síntese e Análise do Carvão Ativado

##### Pirólise

A faixa de temperatura foi de acordo com o esperado para os materiais lignocelulósicos, levando em consideração as faixas de temperatura em que os principais componentes da palha se decompõem. Apesar da literatura indicar que o carvão quimicamente ativado exige uma temperatura menor durante a pirólise, observou-se uma temperatura superior em relação à ativação física. Esse comportamento provavelmente se deu pela quantidade de ácido fosfórico utilizado e pelo teor de umidade residual,

os quais podem ter retardado o processo de pirólise e por consequência o aumentado a temperatura necessária para atingir uma carbonização adequada.

**Rendimento**

$$R_{\%} = \frac{M_{final}}{M_{inicial}} \times 100 \quad (1)$$

$$R_{CF} = \frac{6,00}{20,00} \times 100 \rightarrow 30\% \quad (2)$$

$$R_{CQ} = \frac{5,50}{30,00} \times 100 \rightarrow 18,33\% \quad (3)$$

Sendo  $R_{\%}$ , o rendimento em porcentagem,  $R_{CF}$  o rendimento em porcentagem do carvão ativado fisicamente e  $R_{CQ}$  o rendimento em porcentagem do carvão ativado quimicamente.

Tanto o carvão fisicamente ativado quanto o carvão quimicamente ativado apresentaram rendimentos relativamente baixos, o que é um comportamento normal quando um material passa pelo processo de pirólise. Isso se dá, pois a maioria da biomassa é convertida em gases voláteis como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás metano (CH<sub>4</sub>) e outros compostos orgânicos.

Para o carvão quimicamente ativado, o rendimento foi menor ainda, o que pode ser explicado pela impregnação com o ácido fosfórico. Essa impregnação acabou intensificando as reações de desidratação e oxidação, promovendo maior remoção de material volátil e, consequentemente, menor massa residual.

**Teste de Adsorção**

O teste qualitativo com o azul de metileno foi utilizado para avaliar a capacidade de adsorção dos carvões ativados. Ao entrar em contato com uma solução saturada do corante, ambos os carvões desempenharam resultados satisfatórios, uma vez que não se percebeu nenhuma alteração na coloração do filtrado. Isso pode ser observado nas imagens 01 e 02.

**Figura 01** – Solução de azul de metileno



Fonte: Autores, 2025.

**Figura 02** – Filtrado incolor



Fonte: Autores, 2025.

Esse resultado indica que os carvões foram capazes de adsorver completa ou quase completamente o azul de metileno, comprovando a eficácia dos processos de ativação empregados.

**Purificação da Vinhaça**

**Pré-Tratamento com o Jar Test**

O Jar Test foi conduzido para coagular e flocular a matéria orgânica mais pesada, presente na vinhaça de cana-de-açúcar, para que a purificação da mesma ao passar pelo carvão ativado fosse mais eficiente.

Durante a aplicação dos agentes coagulantes, não se observou a formação de flocos com o pH 7. Por conta disso, se viu necessidade de elevar o pH até valores próximos de 11 para que ocorresse uma floculação efetiva.

**Figura 03** – Vinhaça antes de passar pelo Jar Test



Fonte: Autores, 2025.

**Figura 04** – Vinhaça depois de passar pelo Jar Test



Fonte: Autores, 2025.

Esse comportamento evidencia que a coagulação da vinhaça é favorecida em meio fortemente alcalino, condição que permite a precipitação de hidróxidos metálicos e a neutralização das cargas negativas presentes nas partículas coloidais da vinhaça.

Com isso, foi possível obter um filtrado mais límpido e com menor teor de sólidos suspensos e de matéria orgânica. Se tornando, dessa forma, mais adequado para a etapa seguinte de adsorção em carvão ativado.

**Filtração da vinhaça**

O processo de filtração da vinhaça visou avaliar a mudança do aspecto da mesma quanto à sua coloração, o que está diretamente relacionada à carga orgânica da mesma, e também ao comportamento do elemento K, de grande relevância como agente dos biofertilizantes.

**Determinação de Potássio**

A determinação do potássio na vinhaça antes e depois de passar pelos carvões produzidos permitiram avaliar a capacidade de adsorção do elemento nos mesmos.

A Tabela 04 apresenta os resultados da quantificação do K pelo método do fotômetro de chama.

**Tabela 04** – Resultados da determinação de potássio em vinhaça antes e após filtração nos carvões de palha de milho.

| Amostra   | Teor de K em ppm |
|---|------------------|
| Vinhaça não filtrada com o carvão ativado       | 48               |
| Vinhaça filtrada no carvão fisicamente ativado  | 18               |
| Vinhaça filtrada no carvão fisicamente ativado  | 21               |
| Vinhaça filtrada no carvão quimicamente ativado | 23               |
| Vinhaça filtrada no carvão quimicamente ativado | 33               |

**Fonte:** Autores, 2025.

Observando a tabela acima nota-se que ao passar a vinhaça pelos adsorventes aproximadamente 50% do K fica retido nos carvões. Esse é um resultado positivo quando se propõe utilizar a palha do milho como adsorvente para impurezas de amostras líquidas. No entanto, o K é elemento chave quando a vinhaça é empregada como biofertilizante. Um estudo posterior seria interessante, na linha de avaliar como recuperar esse K dos carvões, de forma que esse elemento pudesse voltar ao ciclo da cana de açúcar.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível comprovar que a palha de milho apresenta grande potencial como matéria-prima para a produção de carvão ativado, agregando valor a um resíduo agrícola amplamente disponível na cadeia produtiva do etanol de milho.

O processo de pirólise demonstrou ser eficiente, apesar do baixo rendimento, para a carbonização do material, com a formação de carvões ativados de boa qualidade, tanto física quanto quimicamente.

Os testes de adsorção com azul de metileno evidenciaram a capacidade adsorptiva dos carvões produzidos, indicando uma estrutura porosa eficiente para remoção de compostos orgânicos em solução.

Na etapa de purificação da vinhaça de cana-de-açúcar, observou-se que os carvões obtidos foram capazes de reter até cerca de 50% do potássio presente, demonstrando sua aplicabilidade no tratamento de efluentes agroindustriais.

Além de reduzir o impacto ambiental causado pela disposição inadequada da palha e da vinhaça, o reaproveitamento desse resíduo se alinha aos princípios da sustentabilidade e da economia circular, ao integrar duas cadeias produtivas relevantes — a do milho e a da cana-de-açúcar — em um mesmo ciclo de aproveitamento de resíduos.

Dessa forma, o presente estudo contribui para a busca de soluções tecnológicas sustentáveis voltadas à mitigação de impactos ambientais, ao mesmo tempo em que propõe o uso de materiais de baixo custo e origem renovável na produção de adsorventes eficientes.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] FERREIRA, M. A. *et. al.* Porcentagem de grão, palha e sabugo na espiga de 20 cultivares de milho. **Boletim de Indústria Animal**, Campinas, v. 76, n. 2, p. 145-153, 2019. Disponível em: <https://bia.iz.sp.gov.br/index.php/bia/article/view/997/991>. Acesso em: 29 out. 2025.
- [2] PAES, M. C. D. *et. al.* **Composição química da palha de milho com qualidade para artesanato**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/491365/1/Composicaoquimica.pdf>. Acesso em: 30 out. 2025.
- [3] SALAZAR, R. F. S. *et. al.* Estudo da composição da palha de milho para posterior utilização como suporte na preparação de compósitos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 6., 2005, Lorena. **Anais [...]**. Lorena: FAENQUIL, 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/235645089\\_Estudo\\_da\\_composicao\\_da\\_palha\\_de\\_milho\\_para\\_posterior\\_utilizacao\\_como\\_suporte\\_na\\_preparacao\\_de\\_compositos](https://www.researchgate.net/publication/235645089_Estudo_da_composicao_da_palha_de_milho_para_posterior_utilizacao_como_suporte_na_preparacao_de_compositos). Acesso em: 30 out. 2025.
- [4] SILVA, A. C. *et. al.* Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista Política Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 142-159, 2020. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1567/pdf>. Acesso em: 28 out. 2025.
- [5] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA – CNA. Milho invade as indústrias de produção de etanol. **SENAR**, 18 out. 2023. Disponível em: <https://cnabrazil.org.br/noticias/milho-invade-as-industrias-de-producao-de-etanol#:~:text=Apesar%20de%20ser%20mais%20dif%C3%ADcil,rende%20407%20litros%20de%20etanol>. Acesso em: 30 out. 2025.
- [6] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Milho**. Brasília: MAPA, 20 maio 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/documentos/Milho.pdf>. Acesso em: 30 out. 2025.
- [7] LANCE, C. E. *et. al.* Fertilização com vinhaça na cana-de-açúcar: avaliação do desenvolvimento inicial, condutividade elétrica e teor de potássio no solo. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 4, p. 805-820, jan./mar. 2023. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4753/3762>. Acesso em: 26 out. 2025.
- [8] CAMILOTTI, F. **Efeitos no solo e em plantas de cana-de-açúcar cultivadas com lodo de esgoto e vinhaça**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho, Jaboticabal, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/1ea48aa0-eb37-4584-90eb-9a8e2803e86e/content>. Acesso em: 27 out. 2025.
- [9] CALDAS, H. *et. al.* O papel da fertilização e dos agroquímicos associados ao cultivo da cana-de-açúcar na qualidade das águas doces do Brasil: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física e Ambiental**, Recife, v. 18, n. 4, p. 2573-2595, 2025. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/download/265725/49593/289547>. Acesso em: 28 out. 2025.
- [10] LIMA, H. H. de S. **Tratamento físico-químico da vinhaça por coagulação e adsorção em carvão ativado do bagaço da cana de açúcar**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, mar. 2013. Disponível em:

[https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5505/1/arq\\_uivototal.pdf](https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5505/1/arq_uivototal.pdf). Acesso em: 30 out. 2025.

### **AGRADECIMENTOS**

À FERMENTEC por ser uma das grandes apoiadoras do projeto AMS e desse projeto de pesquisa.

À ETEC pelo empréstimo do fotômetro de chama, que nos ajudou a obter os resultados, e também agradecemos pelos reagentes cedidos para realização do tratamento físico-químico.

Ao responsável técnico de laboratório da ETEC André Cera, por nos ajudar com dúvidas e no auxílio com os equipamentos.

# VHGF – VERY HIGH GRAVITY FERMENTATION: EFICIÊNCIA DE DIFERENTES CATALIZADORES

Samuel Milanez Antonio<sup>1</sup>, Samuel Moreira da Silva<sup>1</sup>, Prof. Dra. Cristine do Carmo Schmidt Bueno de Moraes<sup>1</sup>,  
Eng. Glauco Martins de Mello Junior<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FATEC PIRACICABA Deputado Roque Trevisan

<sup>2</sup>SOLENIS

f175coord.pqma@cps.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

A fermentação com alto teor de sólidos solúveis (VHGF – *Very High Gravity Fermentation*) apresenta como desafio da tolerância das leveduras a elevadas concentrações de açúcares (altos valores de °Brix) [1].

Esse problema é intensificado quando se utiliza mel impuro como substrato, devido à sua alta viscosidade, presença de impurezas e potencial osmótico elevado. No entanto, isto eleva consideravelmente os custos de produção e o consumo de água, comprometendo a sustentabilidade do processo.

No Brasil, o etanol é produzido principalmente a partir de caldo de cana e melaço. O melaço é um subproduto rico em açúcares, mas exige diluição (cerca de 20°Brix) para ser fermentável.

Para tornar o processo viável, o mel precisa ser diluído e tratado para remover compostos inibitórios, o que aumenta custos e reduz a sustentabilidade do processo. Essa diluição pode incluir adição de sais e fosfatos para ajustar o meio e favorecer a atividade das leveduras [2] [3] [4]

Diante disso, torna-se fundamental investigar a viabilidade da aplicação da VHGF utilizando mel impuro como substrato, buscando alternativas que garantam eficiência fermentativa sem comprometer a viabilidade econômica e ambiental do processo.

A VHGF é definida como uma fermentação de mostos contendo mais de 27% de sólidos dissolvidos, com benefícios como menor consumo de água, maior produtividade de etanol e redução de efluentes. Entretanto, o alto teor de açúcar provoca estresse osmótico e alcoólico nas células, podendo interromper o processo fermentativo [1].

Para superar essas limitações, são necessárias linhagens de leveduras resistentes e meios enriquecidos com nutrientes como nitrogênio, vitaminas e minerais[5].

A *Saccharomyces cerevisiae* é a principal levedura utilizada devido à sua ampla capacidade fermentativa e resistência aos estresses da VHGF [2][1].

Exposto isso, o objetivo do estudo visou avaliar a viabilidade da fermentação VHGF usando mel impuro, catalisadores e cepas de *Saccharomyces cerevisiae* que melhorem a eficiência sem comprometer a viabilidade econômica e ambiental.

## 2. METODOLOGIA

A pesquisa realizada foi do tipo exploratória e experimental, com abordagem qualitativa e quantitativa. No experimento foram testadas diferentes combinações de leveduras (*PE-2* e *FERMEL*) e catalisadores (Ecoenzima, Extrato de Levedura e Nitrofós). Para alcançar os resultados, foi realizada a polarização para medir o brix das amostras de caldo, ajuste de pH para deixar as leveduras em meio confortável, esterilização por aquecimento ou tratamento

UV para impedir contaminantes na amostra que foi fermentada. Também foi realizada a diluição do caldo até chegar no brix ideal e aceitável para as leveduras e a fermentação do caldo com alto teor de açúcar para calcular o rendimento das leveduras. Após isso foi realizada a filtração do etanol fermentado para separação das leveduras e outros sólidos indesejáveis e destilação do etanol final para obtê-lo em forma mais pura, e tal amostra de etanol foi usado como comparativo de pureza e rendimento relativo à fermentação comum. O mel foi diluído de 80% para 40–45% Brix, esterilizado e fermentado por duas semanas a 35°C. A partir disto, foram realizadas medições de Brix a cada três dias para acompanhar o consumo de açúcares e avaliar o desempenho das combinações testadas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As primeiras medições mostraram redução esperada do Brix, indicando início de fermentação. Contudo, nas etapas finais o Brix voltou a subir, sugerindo contaminação bacteriana, provavelmente devido ao uso de pipetas não esterilizadas.

Mesmo assim, os dados iniciais indicaram que:

- A levedura **PE-2** apresentou melhor desempenho nos primeiros dias;
- A **FERMEL** destacou-se após o sexto dia;
- O **catalisador Ecoenzima** apresentou os melhores resultados gerais, especialmente quando combinado com **FERMEL**.

Apesar da contaminação, o experimento apontou potencial da combinação **FERMEL** + Ecoenzima em fermentações de alta gravidade.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo confirmou a viabilidade parcial da VHGF com mel impuro, destacando a importância de controle microbiológico rigoroso. Os resultados preliminares indicam que o uso de catalisadores adequados pode elevar a eficiência da fermentação, mas ainda são necessárias melhorias na padronização experimental e nas condições assépticas. A pesquisa contribuiu para o avanço de alternativas sustentáveis na produção de etanol e reforça o potencial da biotecnologia aplicada à indústria sucroalcooleira.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] PULIGUNDLA P, *et al.* Very high gravity (VHG) ethanolic brewing and fermentation: a research update. **J Ind Microbiol Biotechnol**, v. 38, n. 9, p.1133-44, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21695540/>. Acesso em 15 abr. 2025.
- [2] BARBOSA, H. S. **Fermentação de mosto com alto teor de sacarose para a produção de bioetanol**

- combustível por diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* usando alta densidade celular.** 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara, Araraquara, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/108471>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- [3] CERQUEIRA, D. P. Fermentação alcoólica de mosto com alta concentração de açúcar. 2013. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/4c1b/b8ba866e29d0acb461217d076a8a997f33b4.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- [4] FERREIRA, S. S *et. al.* **Fermentação alcoólica com alta presença de açúcar.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Biotecnologia) – ETEC Professor Carmelino Corrêa Júnior, Franca, 2021. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/10028>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- [5] SILVA, J. A. S, *et. al.* Influência das variáveis nitrogênio, fósforo e °Brix na produção dos metabólicos secundários contaminantes totais da fermentação alcoólica. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 695-698, 2006.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores e funcionários da Fatec Piracicaba Dep. Roque Trevisan e a Solenis pela mentoria e todo o conhecimento compartilhado. Agradecemos também à Fermentec por estarem conosco desde o início de nossa jornada nessa aventura pelo Articulação Médio-Superior (AMS).

*II Simpósio - novembro/2025*

**REALIZAÇÃO:**



**Fatec**  
Piracicaba  
Deputado Roque Trevisan

**Etec**  
Cel. Fernando  
Febeliano da Costa  
Piracicaba



**APOIO:**

