



EFICIÊNCIA DA FERMENTAÇÃO ETANÓLICA DE MOSTOS PREPARADOS A PARTIR DE SEMENTES E GRÃOS DE MILHO

Giovanni Uema Alcantara¹

Luís Gustavo Cardoso Moraes²

Gustavo Henrique Gravatim Costa³

Tecnologia Ambiental

Resumo

Através do incentivo ao desenvolvimento sustentável, o etanol destaca-se devido sua grande versatilidade e derivação de matérias-primas açucaradas, podendo-se mencionar o milho devido sua alta reserva de amido. No Brasil, diversas usinas que processam cana-de-açúcar e milho (“Flex-Fuel”), podem processar grãos e sementes de milho tratadas com compostos agroquímicos. Porém, estes mesmos componentes podem afetar negativamente o processo fermentativo. A partir disso, o objetivo do trabalho foi avaliar os reflexos do processamento de grãos e sementes de milho sobre a eficiência fermentativa, verificando-se a influência do híbrido de milho processado. O experimento foi conduzido no laboratório de pesquisas ambientais e de biologia da Universidade do Estado de Minas Gerais, unidade Frutal-MG. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 4 repetições. Os ensaios foram constituídos por grãos e sementes obtidos dos híbridos Feroz e Feroz Vip. As amostras foram trituradas e submetidas ao processo de cozimento, hidrólise do amido, preparo do mosto e fermentação. Utilizou-se a levedura Thermo-Resistant LNF[®] na concentração de 10% do volume de vinho. Ao final do processo fermentativo, foi avaliada a eficiência fermentativa do processo. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas de acordo com teste de Tukey (5%). Observou-se que há um decréscimo significativo da eficiência fermentativa, além de que foi verificada um comportamento distinto quando avaliado o efeito do processamento de híbridos de milho diferentes. Dessa forma, conclui-se que o processamento de sementes de milho de híbridos diferentes afeta a eficiência fermentativa.

Palavras-chave: Bioenergia; fermentação alcoólica; bioetanol; *Zea mays*.

¹Mestre em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal, MG – Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, gigioalcantara@hotmail.com.

²Graduando em Engenharia Agrônoma, Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal, MG – Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, luis.1093281@discente.uemg.br.

³Prof. Dr. Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal – Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, gustavo.costa@uemg.br.



INTRODUÇÃO

Com o agravamento das constantes mudanças do ecossistema mundial, as nações buscam por alternativas que visem a diminuição do impacto antrópico ao meio ambiente. Dessa forma, através do estabelecimento dos objetivos para o desenvolvimento sustentável mundial (ODS) e a aplicação de programas de financiamento (SOUZA; VIANA, 2019), novas tecnologias podem ser desenvolvidas para tornar o sistema produtivo mais sustentável.

Neste contexto, a busca por fontes alternativas para a substituição dos principais combustíveis derivados do petróleo – gasolina e óleo diesel – tem se intensificado, optando-se pela utilização dos biocombustíveis derivados de fontes energéticas sustentáveis. Dentre esses, cabe ser mencionado o etanol combustível, sendo amplamente produzido e utilizado em países como Estados Unidos e Brasil, sendo misturado à gasolina ou não (FIESP, 2022).

Derivado principalmente da cana-de-açúcar e do milho, diversos países tem verificado a alta versatilidade e potencial tecnológico do biocombustível, ao passo que sua obtenção pode ser derivada de componentes açucarados simples como os monossacarídeos e dissacarídeos e complexos como os polissacarídeos (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

Em território nacional, a cultura do milho no setor sucroenergético tem sido introduzida desde 2015, com unidades industriais dedicadas somente ao processamento da matéria-prima, ou em unidades que processam a cana-de-açúcar e milho ao longo dos períodos de safra e entre safra, denominadas de usinas “Flex-fuel” (ALCANTARA et al., 2020).

O processamento do milho no setor sucroenergético brasileiro visa suprir a demanda crescente pelo etanol, que aumentou em 10,68% entre 2022 para 2023 (OBSERVATÓRIO DA CANA, 2023), contrastando com aumento de 5,9% da produção de etanol brasileira na mesma safra (CONAB, 2023).

Assim, as agroindústrias têm incentivado o plantio de milho no país, bem como buscam por alternativas que possam complementar a matéria-prima amilácea. Entre essas, destaca-se o uso de sementes de milho tratadas com agroquímicos, que são descartadas pelas empresas produtoras em decorrência do seu baixo índice de germinação, ou ainda, as

Realização



sementes que sobram do processo de plantio de produtores.

Entretanto, deve-se destacar que esses compostos presentes na semente podem ser prejudiciais a levedura em fermentação, podendo diminuir a viabilidade de células, bem como afetar o brotamento das mesmas.

Dessa forma, o presente estudo buscou avaliar a o efeito do processamento de grãos e sementes tratadas de milho na eficiência fermentativa, utilizando-se dois híbridos de milho.

METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pesquisas Ambientais da Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 4 repetições, não considerado-se um tratamento controle.

Os híbridos de milho utilizados nos tratamentos foram: Feroz 575 e Feroz Vip 3 (Tabela 1), considerando-se “sementes” como o material com o tratamento de agroquímicos e “grãos” como o material sem o tratamento, sendo estes já previamente adquiridos de fornecedores do Estado de Minas Gerais.

Tabela 1. Tratamentos e abreviações utilizadas no experimento.

Tratamento	Abreviação
Grão Feroz 575	GF
Grão Feroz Vip 3	GFV
Semente Feroz 575	SF
Semente Feroz Vip 3	SFV

Após a obtenção do material, os grãos e sementes foram dispostos em estufa para igualar a umidade em 15%.

A seguir, as amostras foram trituradas em triturador forrageiro, seguido de peneiramento até granulometria inferior a 1,00 mm. Os grãos triturados foram imersos em água na proporção de 250 g.L⁻¹. O material foi aquecido a 100 °C por 1 hora, formando uma

Realização



pasta. Na sequência, a pasta foi resfriada a 80-90°C e dosou-se a enzima α -amilase (LpHera® Novozymes) na proporção de 300 KNU.g⁻¹ de amido, afim de hidrolisar esse composto em moléculas de glicose (NOGUEIRA et al., 2017).

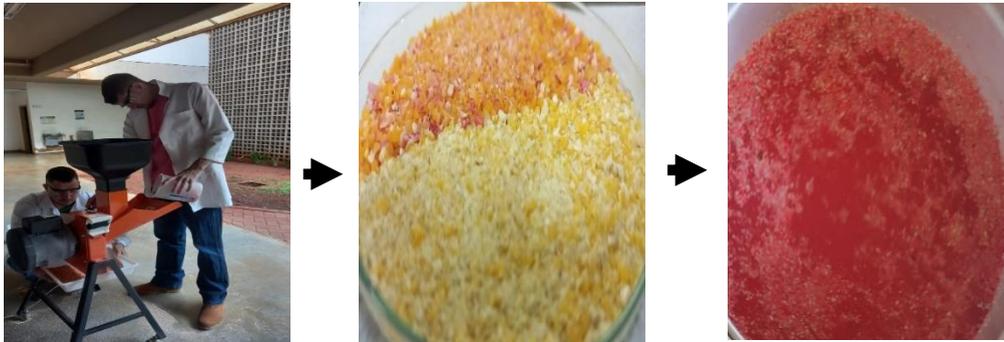


Figura 1. Etapas de processamento dos grãos e sementes de milho com a trituração dos grãos (A), separação das granulometrias dos grãos e sementes (B) e Hidrólise (C)

Fonte: Arquivo pessoal

As pastas foram resfriadas a temperatura ambiente, filtradas em peneira de 20 mesh e ajustadas a pH para 4,5 (ácido sulfúrico 10N) e temperatura na 30°C, originando o mosto.

Os mostos foram inoculados com a levedura industrial Thermo-resistente (LNF) na concentração de 10% do volume a ser fermentado (400mL de mosto para 40g de levedura) com a adição de 0,2 mL da enzima glucoamilase (AML 300L Novozymes). As fermentações foram mantidas em B.O.D. (Biochemical oxygen demand) a 33°C. Ao final do processo fermentativo, foi calculada a eficiência fermentativa (FERNANDES, 2003).

Realização



Figura 2. Processo fermentativos dos tratamentos com Híbridos de milho da variedade Feroz e Feroz Vip.

Fonte: Arquivo pessoal

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas segundo teste de Tukey (5%), utilizando-se o programa AGROESTAT® (BARBOSA; MALDONADO, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as eficiências fermentativas dos tratamentos estão indicados pela Tabela 2.

Realização



Tabela 2. Valores médios determinados de eficiência fermentativas para os tratamentos com grãos e sementes tratadas da Variedade Feroz 575 e Feroz Vip 3. Gf – Grão Feroz 575; Sf – Semente Feroz 575; Gfv – Grão Feroz Vip 3; Sfv – Semente Feroz Vip 3.

Tratamento	Eficiência fermentativa (%)
Gf	83,29AB
Gfv	85,61A
Sf	82,25AB
Sfv	68,18B
Teste F	3,72*
DMS (5%)	17,18
CV	10,25

*significativo ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste F. Letras na coluna diferem-se de acordo com o teste de Tukey (5%). DMS – Desvio Mínimo Significativo. CV – Coeficiente de Variação.

Observou-se que o processamento de sementes do híbrido Feroz Vip resultou em decréscimo significativo da eficiência fermentativa em relação aos demais tratamentos. O valor obtido ao final (68,18%) é baixo em comparação aos apresentados por Lopes et al. (2016), que apontam valores de 85-90% de eficiência fermentativa para mostos de milho. Neste contexto, pode-se afirmar que os demais tratamentos ficaram dentro da faixa indicada como a ideal pelos autores.

Esse comportamento também já havia sido verificado por Lozano et al. (2020), os quais avaliando-se o efeito do processamento de diferentes híbridos de milho sob a produção de etanol, verificaram eficiência fermentativa superior a 80%.

Através desse comportamento, pode-se considerar o fator nutricional dos materiais processados (grãos e sementes), ao passo que concentrações mínimas de nutrientes devem estar dispostas para meio, para que ocorra uma fermentação alcoólica adequada (Tabela 3).

Realização



Tabela 3. Intervalos de nutrientes para uma fermentação adequada

Nutriente	Concentração (ppm)
NH ₄ ⁺	40 – 5900
P	62 – 560
K ⁺	700 – 800
Ca ²⁺	120
Mg ²⁺	70 – 200
SO ₄ ⁻	7 – 280
Na ⁺	200
Zn ²⁺	0,5 – 10
Fe ²⁺	0,2
Cu ²⁺	7

Fonte: Adaptado de LIMA; BASSO; AMORIM, 2001.

Dessa forma, quando os parâmetros mencionados não são adequados, devem ser adotadas medidas de suplementação nutricional para os híbridos de milho durante o período de plantio, colheita e pós-colheita, considerando-se técnicas de adubação e monitoramento adequadas (ÇERÇIOĞLU, 2023).

Além disso, em condições controladas como temperatura de secagem (40°C) e armazenamento (15°C) dos híbridos pós-colheita, para um futuro processamento, pode preservar a qualidade dos grãos por até seis meses e influenciar positivamente nos parâmetros de qualidade dos híbridos (CORADI et al., 2021).

Vale ressaltar ainda que, em períodos de armazenamento superiores a 90 dias, há um efeito direto no teor alcoólico das amostras de mosto de milho fermentados, com alta concentração de açúcares residuários não fermentáveis e alta taxa de glicerol, acarretando em decréscimo do conteúdo alcoólico do meio (NOGUEIRA et al., 2023).

Há também a possibilidade que, devido a presença de agroquímicos nas sementes, resulta em um meio fermentativo propício para o estresse celular da levedura, resultando em um consumo excessivo de compostos açucarados e mudança de via metabólica de produção de etanol para produção de compostos secundários (BASSO, L.; BASSO, T.; ROCHA, 2011).

Destaca-se ainda que dentre estes agroquímicos potenciais presentes na semente podem ser: Fungicidas - Tebuconazole (DING et al., 2018), Iaconazol, Fludioxonil (DEUNER et al., 2014), Thiram, Carbendazim, Captana, Fludioxonil, Tiabendazol.

Realização



Prochloraz (LINHARES et al., 2020); inseticidas - Carbofuran, Thiodicarb, Imidacloprid, Clothianidin, Thiacloprid e Tiamethoxam (VOJVODIC; BAŽOK, 2021).

Neste contexto, destaca-se outro possível fator o qual potencializou a interferência na viabilidade das leveduras são inibidores compostos de furfural e 5-hidroxi-metil-furfural (HMF), tendo esses sido formados durante o processo de metabolização das ligações entre açúcares monoméricos e cadeias poliméricas (ECKERTA et al., 2017).

CONCLUSÕES

A utilização de sementes de milho tratadas no processo pode afetar negativamente a eficiência fermentativa, resultando em perdas significativas de processo em unidade industriais sucroenergéticas “Flex-fuel”. Deve também considerar a influência do híbrido de milho utilizada no processo, ao passo que certa diferença estatística foi verificada entre os grãos e sementes das variedades avaliadas.

AGRADECIMENTOS

Gustavo Henrique Gravatim Costa agradece à UEMG pela Bolsa Produtividade (Chamada PQ/UEMG 01/2021). Luiz Gustavo Cardoso Moraes agradece ao PAPq/UEMG. Giovanni Uema Alcantara agradece à CAPES pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, G. U.; NOGUEIRA, L. C.; STRINGACI, L. A.; MOYA, S. M.; COSTA, G. H. G. Brazilian “flex mills”: ethanol from sugarcane molasses and corn mash, **BioEnergy Research**, v.13, p. 229-236, 2020.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação Agrônômica & AgroEstat: Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônômicos**. FUNEP: Jaboticabal, 2015.

BASSO, L. C.; BASSO, T. O.; ROCHA, S. N. Ethanol production in Brazil: The industrial process and its impact on yeast fermentation. **Biofuel production**, v. 1530, p. 87-100,

Realização



2011. Disponível em:
<[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5250932/mod_resource/content/1/BASSO%202011a%20InTech-](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5250932/mod_resource/content/1/BASSO%202011a%20InTech-Ethanol_production_in_brazil_the_industrial_process_and_its_impact_on_yeast_fermentation.pdf)

[Ethanol_production_in_brazil_the_industrial_process_and_its_impact_on_yeast_fermentation.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5250932/mod_resource/content/1/BASSO%202011a%20InTech-Ethanol_production_in_brazil_the_industrial_process_and_its_impact_on_yeast_fermentation.pdf)>. Acesso em: 03 ago. 2022.

Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar – primeiro levantamento | abril/2023**. Brasília: Conab, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

CORADI, P. C.; NUNES, M. T.; BELLOCHIO, S. D. C.; CAMILO, L. J.; TEODORO, P. E. Effects of drying temperatures and storage conditions on the levels of lipids and starches in corn grains for yield ethanol industry. **Biofuels**, v. 13, n. 6, p. 745-754, 2021.

ÇERÇIOĞLU, M. The determination of grain yield, yield components, and macro nutrient content of corn (*Zea Mays* L.) by different agricultural practices. **Eurasian Journal of Soil Science**, v. 12, n. 2, p. 141-150, 2023.

DEUNER, C.; ROSA, K.C.; MENEGHELLO, G.E.; BORGES, C.T.; ALMEIDA, A.S.; BOHN, A. Physiological performance during storage of corn seed treated with insecticides and fungicide. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 2, p. 204-212, 2014.

DING, J.; LI, H.; ZHANG, Z.; LIN, J.; LIU, F.; MU, W. Thiamethoxam, Clothianidin, and Imidacloprid Seed Treatments Effectively Control Thrips on Corn Under Field Conditions. **Journal of Insect Science**, v. 18, n. 6, 2018.

LINHARES, R.R.; DE MORAES, M.H.D.; ISHIZUKA, M.S.; MENTEN, J.O.M. Tratamento de sementes de milho, 2020. <https://revistacultivar.com.br/artigos/tratamento-de-sementes-de-milho>. Acesso em: 01 março de 2023.

VOJVODIC, M.; BAŽOK, R. Future of insecticide seed treatment. **Sustainability**, v. 13, n. 16, 8792, 2021.

ECKERTA, C.T.; FRIGOB, E.P.; ALBRECHTC, L.P.; ALBRECHTC, A.J.P.; CHRISTA, D.; SANTOS, W.G.; BERKEMBROCKC, E.; EGEWARTHD, V.A. Maize ethanol production in Brazil: Characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 3907-3912, 2017.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. Piracicaba: EME/STAB, 2003.

FIESP. **Safra Mundial de Milho Safra 2022/2023**. 3º LevantamentoUSDA. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

Realização



LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. **Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos**. Edgard Blücher: São Paulo, Brasil, 2001; V. 3.; p. 1-43.

LOPES, M. L.; PAULILO, S. C. L.; GODOY, A.; CHERUBIN, R. A.; LORENZI, M. S.; GIOMETTI, F. H. C.; BERNARDINO, C. D.; AMORIM NETO, H. B., AMORIM, H. V. Ethanol production in Brazil: A bridge between science and industry. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.47, n.1, p.64-67, 2016.

LOZANO, E. V.; NOGUEIRA, L. C.; ALCANTARA, G. U.; COSTA, G. H. G. Híbridos de Milho afetam a quantidade de etanol produzida no Cerrado do Centro-Oeste paulista. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, n.1, 2020.

NOGUEIRA, L. C.; ALCANTARA, G. U.; MOYA, S. M.; COSTA, G. H. G. "Extração dos açúcares do grão de milho de 1,18mm em diferentes tempos de cozimento", p. 1162-1166. In: **Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.4. São Paulo: Blucher, 2017.

NOGUEIRA, L. C.; ALCANTARA, G. U.; FERREIRA, O. E.; COSTA, G. H. G. Storage Time and Temperature of Corn Grains Affect the Ethanol Production. **Sugar Tech**, v. 25, p. 562-568, 2023.

OBSERVATORIO DA CANA. **Frota Brasileira de Automóveis e veículos comerciais Leves (Ciclo Otto)**. Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=147>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

SOUZA, R.M.L.; VIANA, M.E.F. Financiamento do desenvolvimento sustentável: elementos para a contribuição dos bancos de desenvolvimento. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 52, p. 35-66, 2019.