ISSN: 2310-0036
Vol. 4 | Nº. 17| Ano 2026

Eficiência de um destilador *batch* simples na produção de etanol hidratado

Efficiency of a simple batch distiller for hydrated ethanol production

Francisco D. Sacama

Universidade Católica de Moçambique

fsacama@ucm.ac.mz

Alberto Nota

Universidade Católica de Moçambique

aalfredo@ucm.ac.mz

RESUMO

A destilação é utilizada para separar misturas líquidas com base na diferença entre os pontos de ebulição dos seus componentes, tendo diversas matérias-primas sido estudadas com vista à produção de etanol. A solução de etanol a 70% v/v aplica-se na sanitização de superfícies e das mãos, por eliminar microrganismos patogénicos (bactérias e vírus) responsáveis por doenças no ser humano e pela deterioração dos alimentos. O objectivo do estudo foi avaliar a eficiência da tecnologia de destilação batch simples na produção de etanol hidratado desinfectante. A metodologia seguiu o método de Rayleigh, tendo a fermentação sido conduzida com *Saccharomyces cerevisiae* comercial à temperatura de 27 °C. Os resultados experimentais indicam que o enriquecimento do teor de álcool etílico se obtém no processo de bidestilação, a partir de uma solução com 31,0% v/v, com um volume de destilado correspondente a 1/4 do volume de alimentação. O produto final é uma solução alcoólica com 71,71% v/v de etanol. Conclui-se que o sistema apresenta uma eficiência de operação adequada aos princípios técnico-científicos aplicáveis.

Palavras-chave: destilação batch simples; etanol desinfectante; fermentação.

Abstract

Distillation separates liquid mixtures according to the boiling points of their components, and several raw materials have been studied for ethanol production. A 70% v/v ethanol solution is used to sanitise surfaces and hands, since it eliminates pathogenic microorganisms responsible for human disease and for food spoilage. This study evaluated the efficiency of simple batch distillation for the production of hydrated disinfectant ethanol. Rayleigh's method was followed, and fermentation was carried out with commercial *Saccharomyces cerevisiae* at 27 °C. The results show that the ethanol content is enriched during the second distillation, starting from a 31.0% v/v solution, with a distillate volume corresponding to one quarter of the feed volume. The final product is an alcoholic solution containing 71.71% v/v ethanol. The system therefore shows an operating efficiency consistent with the applicable technical and scientific principles.

Keywords: simple batch distillation; disinfectant ethanol; fermentation.

Rua: Comandante Gaivão nº 688
C.P.: 821
Website: http://www.ucm.ac.mz/cms/
Revista: http://www.reid.ucm.ac.mz
Email: reid@ucm.ac.mz
Tel.: (+258) 23 324 809
Fax: (+258) 23 324 858
Beira, Moçambique

1. Introdução

A destilação separa os componentes de uma mistura líquida com base na diferença dos seus pontos de ebulição e é amplamente aplicada nas indústrias alimentar e química (Athanasiadis et al., 2022). Este processo ocorre de forma contínua, semi-contínua e batch (Cruz, de Resende, & Ribeiro, 2021). A destilação batch usa-se frequentemente na produção de etanol em baixa escala, visto que, envolve tecnologia menos complexo e facilidade de manutenção. Uma das vantagens da destilação batch é a possibilidade de separar misturas de diversos componentes, mas este processo ocorre com maior consumo de energia (Anzaku et al., 2026).

O álcool etílico (etanol) pode ser obtido por meio de produtos agrícolas (os cereais, tubérculos e produtos contendo celulose), em três etapas: (1) Degradação da estrutura de açúcares superiores das matérias-primas por meio de cozedura e adição de enzimas; (2) Fermentação do mosto contendo açúcares primário com base nos microorganismos (leveduras); (3) Separação do etanol da mistura fermentada pelo processo de destilação (Binous & Al-Harthi, 2014; Butrón-Benítez et al., 2024).

Os açúcares simples derivados de cana-de açúcar, tubérculo sacarina e sorgo é obtido pelo processo de extracção por meio de trituração e prensagem do material (Maitlo et al., 2025). O bagasso residual é lavado com água para extracção de açúcar residual. O material fibroso celulósico pode ser tratado quimicamente ou enzimaticamente para a produção de mais açúcar.

A fermentação (Mouret, Aguera, Perez, Farines, & Sablayrolles, 2021) é conversão de material orgânico numa forma química para outra usando enzimas produzidas por microorganismos anaeróbicos como *Saccharomyces cerevisiae*, que degrada a glicose convertendo em etanol envolvendo sequência complexa de reacções químicas, que podem ser resumidos como:

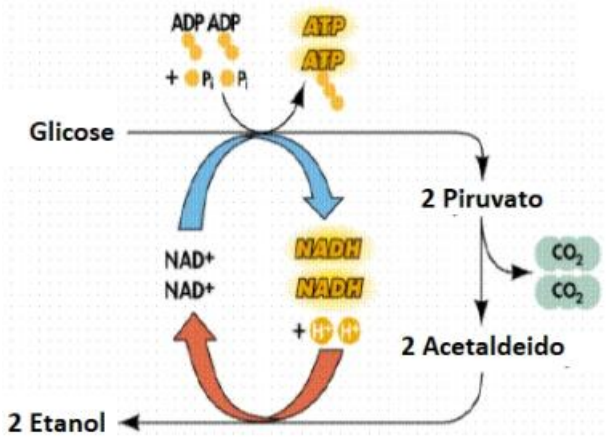


Figura 1. Conversão de açúcares e etanol pela *Saccharomyces cerevisiae*

Actualmente, o etanol gerado é reduzido, visto que cerca de 5% dos açúcares é consumido pela levedura na multiplicação e produção de células e na geração de produtos secundários, como gliceróis, ácido acético, ácido láctico e outros compostos químicos. As condições óptimas para a actividade fermentativa da *Saccharomyces cerevisiae* situam-se entre pH 3,0 e 5,0 e entre 27 °C e 35 °C. O tempo de conversão do açúcar em etanol depende do número de células de levedura por quantidade de açúcar existente no mosto (Guevara, Silva, Hasegawa, & Venanzi, 2017; Chen et al., 2025).

Para o presente trabalho usou o processo de destilação simples (Douady, Puentes, Awad, & Esteban-Decloux, 2019), que consiste em evaporar a mistura e seguida de condensação do vapor gerado e coletado finalmente no recipiente (Keffer, Evans, Turn, & Kinoshita, 2006). A tecnologia de destilação (Górak & Olujić, 2014) enquadra-se no processo de transferência de calor, pela aplicação de calor para a sua operação. A mistura binária etanol-água pode ser separada por diferencial de temperaturas, uma vez que os dois componentes possuem pontos de ebulição distintos: à pressão atmosférica, o etanol entra em ebulição a 78,2 °C e a água a cerca de 100 °C.

Segundo Spaho (2017), a concentração do vapor de etanol na primeira fracção de destilado é cerca de 80 – 95 % v/v é o produto recomendado, mas 2/3 a 3/4 do líquido condensado final retorna como refluxo para o destilador, pois a finalidade do processo é obter o álcool hidratado para finalidade de desinfectante. A taxa de destilação avalia-se segundo as condições de equilíbrios de concentrações de etanol no líquido em ebulição e no vapor gerado. Durante a destilação o etanol e a água são dois componentes transportados na fase de vapor, estes componentes variam de concentração ao longo de tempo de destilação, pois a mistura vai-se empobrecendo de etanol com variação do tempo, obtendo deste modo os produtos designados de cabeça, coração e cauda, com volatilidade alta, média e baixa (Butrón-Benítez et al., 2024).

Assim, o presente trabalho visa avaliar a eficiência do processo de destilação batch montado na Faculdade de Engenharia da UCM em Chimoio, destinado à produção de álcool medicinal para solução desinfectante (álcool gel), no âmbito das medidas de mitigação da pandemia de COVID-19.

1. Materiais e Métodos

2,1. Materiais

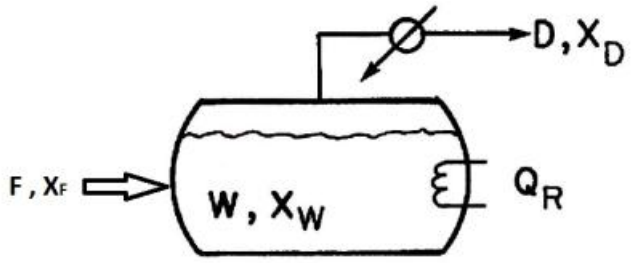
A levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), a cana-de-açúcar, a sacarose e o farelo de milho foram adquiridos no mercado local de Chimoio. O sistema de destilação foi montado na oficina de serralharia mecânica da Faculdade de Engenharia (UCM), em Chimoio. O etanol foi produzido na sala de processamento e o controlo de qualidade realizou-se no Laboratório de Análise de Alimentos (LAA).

2,2. Métodos

Com base no balanço de massa do sistema verifica-se que a quantidade de mosto em ebulição (*dW/dt*) decresce na mesma taxa do destilado (*dD/dt*), isto é:

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{dD}{dt}\frac{dW}{dt} = -\frac{dD}{dt} \quad (1)$$

A Função de maximização dos rendimentos do destilador batch simples é resolvido tendo em conta as concentrações de etanol nas correntes de alimentação (F, x_F) , ebulição (W, x_W) de destilado (D, x_D).



Segundo a equação de Rayleigh (Pimenta et al., 2026):

$$ln\frac{W}{F}ln\frac{W}{F} = \int_{xF}^{xw}\frac{dxw}{xD-xw}\int_{xF}^{xw}\frac{dxw}{xD-xw} \quad (2)$$

Considerando a composição do destilado constante no primeiro instante, a equação de Rayleigh reduz-se a:

$$\frac{W}{F} = \frac{xD - xF}{xD - xw}\frac{W}{F} = \frac{xD - xF}{xD - xw} \quad (3)$$

Assim, considerando as equações de balanço de massa global, teremos:

$$D = F(1 - \frac{xD - xF}{xD - xw}D = F(1 - \frac{xD - xF}{xD - xw}) \quad (4)$$

2. Resultados e Discussão

A produção do etanol pela fermentação de açúcar (sacarose) ocorreu no tempo médio de 5 dias, a temperatura média da sala de processos de 27 °C, em dornas plásticas de 250 litros de volume. O mosto fermentado teve 10,0 % v/v de álcool. O etanol é concentrado no destilador *batch* simple, com capacidade de carga de 20 litros de mostos e fonte de calor gás butano/propano (gás de cozinha). O processo de destilação ocorreu em duas etapas: a destilação de limpeza do mosto (Tabela 1) e a segunda destilação (bi-destilação) para a obtenção de álcool desinfectante de concentração em 70,0 – 75,0 % v/v, (Tabela 2).

O resultado de balanço de massa global e balanço por componente, considerando os dados experimentais obtidos na segunda destilação (bi-destilação), permitiu obter a seguinte equação:

Volume do Destilado: D = 4 litros

Volume de Alimentação: F = 16 litros

Concentração de etanol no destilado: $X_D = 0,71$

$X_F = 0,75\ x_w + 0,1775$ (5)

O modelo (5) representado pelos dados da tabela 2 e substituído na equação (4), determinou-se o valor de concentração de etanol no mosto no ebulidor: $X_w = 0,1775$. Assim, a concentração de etanol no volume de entrada no processo de bi-destilação é de $X_F = 0,31$, correspondente a 31 % v/v de etanol.

Tabela 1. Resultados experimentais de destilação de mosto fermentado.

No	Tempo (min)	Peso Específico (g)	Volume (ml)	Álcool (%)
1	30	0,9600	750	24,26
2	85	0,9424	750	34,51

3	150	0,9512	750	29,68
4	218	0,9622	750	22,77
5	290	0,9649	750	20,95
6	365	0,9728	750	15,36
7	436	0,9780	660	11,69
Σ Volume			**5160**	

Os dados da Tabela 1 ilustram o comportamento da variação ca concentração de etanol ao longo do tempo de destilação. Nota-se que, a baixa concentração no primeiro momento deve-se ao processo de regulação de calor, visto que, a intensidade do calor sensível era maior, o que contribuiu na ebulição duma fracção de água. Considerando a taxa de destilado a obter, que corresponde a 1/4 do volume de alimentação, verificamos que, houve variação de concentração do etanol com tempo nas diferentes fracções obtidos ao longo do processo.

A bi-destilação do etanol (Tabela 2) representa a constância do teor de etanol na fracção do destilado final correspondente a 1/4. Portanto, este comportamento do processo permite a determinação dos parâmetros do processo empregando da equação de Rayleigh.

Tabela 2. Os Resultados experimentais de processo de bi-destilação do etanol.

No	Tempo (min)	Peso Específico (g)	Volume (ml)
1	12	0,8593	420
2	24	0,8559	240
3	46	0,8570	500
4	63	0,8621	380
5	82	0,8585	415
6	103	0,8635	460
7	124	0,8608	450
8	143	0,8671	400
9	164	0,8679	425
10	184	0,8735	380

Média±DP	**0,8594 ±0,0053**	**Σ = 4070**

DP – Desvio Padrão

A experiência permitiu verificar que a concentração média de etanol foi de 71,71 % v/v, num volume de destilado de 4,070 litros obtidos a partir de 16,0 litros da primeira destilação. Segundo Spaho (2017) a concentração de etanol no no processo de bidestilado é aproximadamente invariável na primeira 1/4 do destilado e varia de 69,0 a 72,0 % v/v. Os resultados obtidos no presente trabalho é conforme com aqueles encontrados por Lopes et al. (2016), Pacheco (2011) e Sthiannopkao (2002), o que evidencia que, para processo de obtenção de álcool concentrados é necessárias destilações de vários efeitos. A mistura binária etanol-água acima de 95,0 % v/v é uma solução azeotrópica, para a obtenção do etanol anidro de 99,9 % v/v de álcool é preciso empregar compostos químicos desidratantes ou molecular sieves.

3. Conclusão

Os resultados experimentais e numéricos referentes à destilação batch simples da mistura etanol-água permitem concluir que a concentração de etanol adequada a uma solução desinfectante, 70% v/v, se obtém no processo de bidestilação a partir de uma solução de alimentação com 31% v/v de etanol, sendo o destilado obtido correspondente a 1/4 do volume de alimentação, com 71,71% v/v de etanol. O factor determinante para a eficiência do processo de destilação é o calor necessário à ebulição, uma vez que a temperatura de ebulição do etanol se situa em torno de 78 °C e a da água em 100 °C.

Referências

Anzaku, S. O., Achara, N., Haruna, A., Samuel, M., Sa'ad, A., Jamil, M. M., ... Amodu, M. I. (2026). Design, fabrication and performance evaluation of a low-cost batch bioethanol distillation system for small-scale renewable fuel production. *Iconic Research and Engineering Journals, 10*(1), 731–735. https://doi.org/10.64388/IREV10I1-1719587

Arshad, M., Hussain, T., Iqbal, M., & Abbas, M. (2017). Enhanced ethanol production at commercial scale from molasses using high gravity technology by mutant S. cerevisiae. *Brazilian Journal of Microbiology, 48*(3), 403–409. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.02.003

Athanasiadis, I. (2022). Distillation of grape marc: The role of cut points on the aromatic profile of Tsipouro. *Journal of Food Science, 87*(2), 800–812.

Basinskiene, L., Juodeikiene, G., Vidmantiene, D., Tenkanen, M., Makaravicius, T., & Bartkiene, E. (2016). Non-alcoholic beverages from fermented cereals with increased oligosaccharide content. *Food Technology and Biotechnology, 54*(1), 36–44. https://doi.org/10.17113/ftb.54.01.16.4106

Binous, H., & Al-Harthi, M. A. (2014). Simple batch distillation of a binary mixture. *Computer Applications in Engineering Education, 22*(4), 649–657. https://doi.org/10.1002/cae.21556

Butrón-Benítez, J. D. (2024). Advances in the production and regulation of wine-derived spirits: Congener profiles and sensory impact. *Journal of Food Science and Technology, 61*(1), 45–67.

Cardona, C. A., & Sánchez, Ó. J. (2007). Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. *Bioresource Technology, 98*(12), 2415–2457. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.002

Chen, A., Si, Q., Xu, Q., Pan, C., Qu, T., & Chen, J. (2025). Evaluation of stress tolerance and fermentation performance in commercial yeast strains for industrial applications. *Foods, 14*(1), 142. https://doi.org/10.3390/foods14010142

Cruz, M. L., de Resende, M. M., & Ribeiro, E. J. (2021). Improvement of ethanol production in fed-batch fermentation using a mixture of sugarcane juice and molasse under very high-gravity conditions. *Bioprocess and Biosystems Engineering, 44*(3), 617–625. https://doi.org/10.1007/s00449-020-02462-x

Douady, A., Puentes, C., Awad, P., & Esteban-Decloux, M. (2019). Batch distillation of spirits: Experimental study and simulation of the behaviour of volatile aroma compounds. *Journal of the Institute of Brewing, 125*(2), 268–283. https://doi.org/10.1002/jib.560

Edgar, T. F., Himmelblau, D. M., & Lasdon, L. S. (2001). *Optimization of chemical processes* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.

Gil, I. D., Uyazán, A. M., Aguilar, J. L., Rodríguez, G., & Caicedo, L. A. (2008). Separation of ethanol and water by extractive distillation with salt and solvent as entrainer: Process simulation. *Brazilian Journal of Chemical Engineering, 25*(1), 207–215. https://doi.org/10.1590/S0104-66322008000100021

Górak, A., & Olujić, Ž. (Eds.). (2014). *Distillation: Equipment and processes*. Amsterdam: Academic Press.

Guevara, A. J. H., Silva, O. R., Hasegawa, H. L., & Venanzi, D. (2017). Avaliação de sustentabilidade da produção de etanol no Brasil: Um modelo em dinâmica de sistemas. *Brazilian Business Review, 14*(4), 435–447. https://doi.org/10.15728/bbr.2017.14.4.5

Iglesias, A., Pascoal, A., Choupina, A. B., Carvalho, C. A., Feás, X., & Estevinho, L. M. (2014). Developments in the fermentation process and quality improvement strategies for mead production. *Molecules, 19*(8), 12577–12590. https://doi.org/10.3390/molecules190812577

Keffer, V., Evans, D., Turn, S., & Kinoshita, C. (2006). *Potential for ethanol production in Hawaii* (Relatório preparado para o State of Hawaii Department of Business, Economic Development and Tourism). Hawaii Natural Energy Institute, University of Hawaii.

Leonel, M., Torres, L. M., Garcia, E. L., Santos, T. P. R., & Mischan, M. M. (2015). Production of alcoholic beverage from ginger: Study of fermentation process and final product quality. *British Journal of Applied Science & Technology, 9*(4), 318–326. https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/17704

Lopes, C. H., Gabriel, A. V. M. D., & Borges, M. T. M. R. (2011). *Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar: Tecnologia de produção de etanol*. São Carlos: EdUFSCar.

Lopes, M. L., Paulillo, S. C. L., Godoy, A., Cherubin, R. A., Lorenzi, M. S., Giometti, F. H. C., ... Amorim, H. V. (2016). Ethanol production in Brazil: A bridge between science and industry. *Brazilian Journal of Microbiology, 47*(Suppl. 1), 64–76. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.10.003

Maitlo, G., Inamullah, Ali, S., Soomro, I. A., Khan, S. Y., Ali, I., & Unar, I. N. (2025). Increasing ethanol production on commercial scale using sugarcane molasses at very high gravity technique. *Sindh University Research Journal (Science Series), 57*(1), 45–57. https://doi.org/10.26692/surjss.v57i1.7591

Manochio, C. (2014). *Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: Uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos* (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas.

Marques, C. (2021). Potential of energy efficiency in spirit distillation: A review. *Energy Reports, 7*, 1766–1778.

Marshall, E., & Mejia, D. (2011). *Traditional fermented food and beverages for improved livelihoods* (FAO Diversification Booklet No. 21). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Mouret, J.-R., Aguera, E., Perez, M., Farines, V., & Sablayrolles, J.-M. (2021). Study of oenological fermentation: Which strategy and which tools? *Fermentation, 7*(3), 155. https://doi.org/10.3390/fermentation7030155

Narvaes-Garcia, A., Zavala-Loria, J. C., Vilchiz-Bravo, L. E., & Rocha-Uribe, J. A. (2015). Performance indices to design a multicomponent batch distillation column using a shortcut method. *Brazilian Journal of Chemical Engineering, 32*(2), 595–608. https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150322s00003157

Neagu, M., & Pricop-Nicolae, M. (2025). Azeotropic and extractive distillation for bio-ethanol dehydration: Process design, simulation, and cost analysis. *Processes, 13*(11), 3634. https://doi.org/10.3390/pr13113634

Nursyahied, I., Priyanto, S., & Syahrir, S. (2025). Low-cost bioethanol distiller with PV modules as educational media in renewable energy vocational schools. *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan), 9*(3), 911–921. https://doi.org/10.58258/jisip.v9i3.8599

Otulugbu, K. (2012). *Production of ethanol from cellulose (sawdust)* (Bachelor's thesis). Arcada University of Applied Sciences, Helsinki.

Pacheco, T. F. (2011). *Produção de etanol: Primeira ou segunda geração?* (Circular Técnica 4). Brasília: Embrapa Agroenergia.

Pimenta, M. P. M. C. A. N., Silva, F. T. M., Cruz, M. L., Fernandes, A. L. T., Marques, M. A. A., Baptista, M. C. F., ... Finzer, J. R. D. (2026). Bebida destilada de fermentado de uvas. *REMUNOM, 13*(1), 1–20. https://doi.org/10.66104/5fk6mn63

Rendleman, C. M., & Shapouri, H. (2007). *New technologies in ethanol production* (Agricultural Economic Report No. 842). Washington, DC: United States Department of Agriculture.

Schroeder, J. A., Penoncello, S. G., & Schroeder, J. S. (2014). A fundamental equation of state for ethanol. *Journal of Physical and Chemical Reference Data, 43*(4), 043102. https://doi.org/10.1063/1.4895394

Schwietzke, S., Kim, Y., Ximenes, E., Mosier, N., & Ladisch, M. (2009). Ethanol production from maize. In A. L. Kriz & B. A. Larkins (Eds.), *Molecular genetic approaches to maize improvement* (Biotechnology in Agriculture and Forestry, Vol. 63, pp. 347–364). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68922-5_23

Spaho, N. (2017). Distillation techniques in the fruit spirits production. In M. F. Mendes (Ed.), *Distillation: Innovative applications and modeling*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/66774

Sthiannopkao, S. (2002). Ethanol production technology in Thailand. *Asian Journal on Energy and Environment, 3*(1–2), 27–51.

Towler, G., & Sinnott, R. (2008). *Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design*. Butterworth-Heinemann.

Williams, G., van Wyk, J., & Hansmann, C. (2016). The development of alcoholic fermented beverages utilizing plums with the application of innovative beverage fermentation technology. *South African Journal of Enology and Viticulture, 37*(2), 199–210.