Eficiência industrial sobre a perspectiva da contaminação bacteriana em uma empresa do sudoeste goiano

Rhogger Freitas Silva[1], Maycon Garcia Silva[2], Michael Wellington Sousa Santos[3], Jordania Louse Silva Alves[4], Fabíola Medeiros Costa[5], Darlan Marques da Silva[6]

[1] Graduando em Engenharia de Software, Universidade de Rio Verde, Bolsista CNPq
[2] Graduando em Engenharia de Software, Universidade de Rio Verde.
[3] Graduando em Engenharia de Software, Universidade de Rio Verde.
[4] Doutora, Professora da Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Amazonas.
[5] Doutora, Professora da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.
[6] Orientador Mestre, Professor da Faculdade de Engenharia de Software, Universidade de Rio Verde.

.

Reitor:
Prof. Dr. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:
Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:
Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:
Profa. Dra. Ana Paula Fontana
Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva
Prof. Dr. Fábio Henrique Baia
Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob
Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:
Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2023-2024

Resumo: Processos que envolvem o controle de contaminação bacteriana na fermentação para a produção de álcool, são vitais para este tipo de organização. Mediante tal exposto, o objetivo desta pesquisa é avaliar o impacto do controle da contaminação bacteriana na fermentação da eficiência industrial de uma usina produtora de etanol e os custos onerados. O estudo foi realizado em uma usina produtora de etanol a partir de cana-de-açúcar no sudoeste goiano. Foi realizada uma pesquisa *in loco* no histórico de dados industriais de uma usina nos anos de 2014, 2015 e 2016. Os indicadores de interesse foram a contaminação bacteriana, perda da fermentação, rendimento fermentativo por balanço de ART, eficiência industrial, consumo e custo de insumos e produção de etanol. Foi evidenciado o ganho na eficiência industrial através do controle da contaminação bacteriana na fermentação e que, mesmo aumentando o gasto com insumos, esse controle se mostrou compensatório, devido ao aumento da produção de etanol ter gerado maior receita e, consequentemente, lucro para a empresa. O lucro obtido foi de R$ 1.749.371,56 em 2015 e R$ 6.695.668,05 em 2016.

Palavras-Chave: Etanol. Processo Fermentativo. Custos industriais.

Industrial efficiency from the perspective of bacterial contamination in a company in southwest Goiás.

Abstract: *Processes involving the control of bacterial contamination in fermentation for alcohol production are vital for this type of organization. Given the above, the objective of this research is to evaluate the impact of controlling bacterial contamination in fermentation on the industrial efficiency of an*

ethanol production plant and the costs involved. The study was carried out in a sugarcane ethanol production plant in southwestern Goiás. An on-site survey was carried out on the historical industrial data of a plant in the years 2014, 2015 and 2016. The indicators of interest were bacterial contamination, fermentation loss, fermentation yield by ART balance, industrial efficiency, consumption and cost of inputs and ethanol production. The gain in industrial efficiency through the control of bacterial contamination in fermentation was evidenced and that even increasing the cost of inputs, this control proved to be compensatory, since the increase in ethanol production generated greater revenue and consequently profit for the company. The profit obtained was R$ 1,749,371.56 in 2015 and R$ 6,695,668.05 in 2016.

Keywords: *Ethanol. Fermentation process. Industrial costs.*

Introdução

O assunto energia é tema de debates e discursos no mundo inteiro, já que envolve questões econômicas, políticas e sociais. O aumento do preço do petróleo ocorrido em 1973 gerou grandes impactos nas economias mundiais importadoras, tornando a questão energética uma das principais preocupações da época (International Energy Agency, 2014).

Como resposta à crise do preço do açúcar e do petróleo e a consequente pressão dos produtores do complexo canavieiro, o Brasil implantou o Proálcool - Programa Nacional do Álcool. O programa fortaleceu e desenvolveu o setor até meados de 1990, quando o preço do petróleo caiu tornando inviável a compra do biocombustível, que ganhou força novamente a partir de 2003 com o advento dos carros flexfuel (movidos a etanol ou gasolina) (Cavalcanti; Jalles, 2013; Myers et al., 2017).

Segundo a ANP – Agência Nacional de Petróleo (2016), a produção de etanol no Brasil em 2015 foi de 30.016.294 m³, 1,1% maior que em 2013 e em 2014. As regiões que mais produziram foram a sudeste com 17.269.470 m³ (57,53%), e a centro-oeste, com 8.837.999 m³ (29,44%). As regiões nordeste, sul e norte produziram juntas 3.908.825 m³ (13,03%). Os estados que mais produzem etanol são São Paulo e Goiás, responsáveis por mais de 50% da oferta do biocombustível no país.

Para o processo produtivo de biocombustíveis, como o etanol, o pré-tratamento é um passo crucial que tem impacto considerável, afeta as taxas de hidrólise, cargas enzimáticas, variáveis de fermentação e processamentos (Manfredi et al., 2018). Para Dias et al. (2015), em seus estudos sobre o processo de produção de etanol e açúcar no Brasil, destacam que o método para produção, distância de transportes e o banco de dados de inventário do país, refletem no ciclo de vida dos biocombustíveis. Manfredi et al. (2018) propõem a produção do etanol em diferentes condições de fermentação após a explosão de vapor em altas cargas de sólidos, com um pré-tratamento alcalino e ácido, melhorando em 60% a liberação de glicose.

Brexó e Sant'Ana (2017) relatam que a contaminação bacteriana na fermentação impacta diretamente na produtividade e no rendimento final dos biocombustíveis, devido à degradação da sacarose para a geração de ácidos, ao invés de etanol e a intoxicação das leveduras causadas por esses ácidos.

Consequentemente, surgiu um gap em verificar se a contaminação bacteriana impacta na eficiência industrial sobre a perspectiva dos custos industriais. Esta pesquisa tem o objetivo de verificar se o controle da contaminação bacteriana na fermentação impacta na eficiência industrial de uma usina produtora de etanol, localizada no Brasil e, em caso positivo, analisar se o custo onerado é menor do que o ganho em etanol produzido pelo aumento da eficiência, o que torna o controle da contaminação rentável à empresa.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em uma usina produtora de etanol a partir da cana-de-açúcar localizada no município de Quirinópolis, sudoeste do estado de Goiás, no Brasil. A empresa possui alta tecnologia, o que possibilita monitorar e historiar todo o processo pelo COI (Centro de Operações Industriais) sendo considerada uma das mais modernas do mundo.

Foram realizadas coletas de dados *in loco*, no software SAP MII, responsável pelos cálculos e registro do histórico de indicadores industriais da empresa. Os dados coletados foram: eficiência industrial, contaminação microbiológica na fermentação, rendimento fermentativo, perdas nos

processos de extração, tratamento de caldo, fermentação e destilação e volume de etanol total (anidro mais hidratado) produzido nas safras de 2014, 2015 e 2016. Os dados foram estruturados por meio do programa Microsoft Excel 2013, possibilitando a análise.

Através da análise dos dados coletados, foi verificado se a gestão do processo fermentativo da empresa está sendo assertiva, ou seja, se os parâmetros para a contaminação bacteriana na fermentação, estabelecidos internamente, estão contribuindo para a redução da perda na fermentação e, consequentemente, aumentando a eficiência industrial.

Após essa análise, também foi comparado o gasto onerado do controle da contaminação e o retorno advindo da redução da perda na fermentação, no intuito de comprovar se os parâmetros de trabalho estão gerando receita para a empresa, ou se o aumento do custo com insumos está maior que o ganho em etanol, acarretando prejuízo.

Resultados e Discussão

Foi realizada uma pesquisa no histórico de dados industriais da usina, para tabular, através do @Excel 2013, os indicadores de interesse deste trabalho. Entre esses principais indicadores, estão a perda na fermentação (%) e a contaminação bacteriana (bastonetes/mL) (ver Figura 1).

De acordo com a Figura 1, pode-se notar a progressiva diminuição da perda na fermentação, ocasionada diretamente pela queda da contaminação bacteriana. Conforme Oliva-Neto e Yokoya (1997) e Narendranath et al. (1997), tal relação se dá pelas bactérias consumirem o açúcar destinado à fabricação de etanol pelas leveduras, produzindo ácidos como produto.

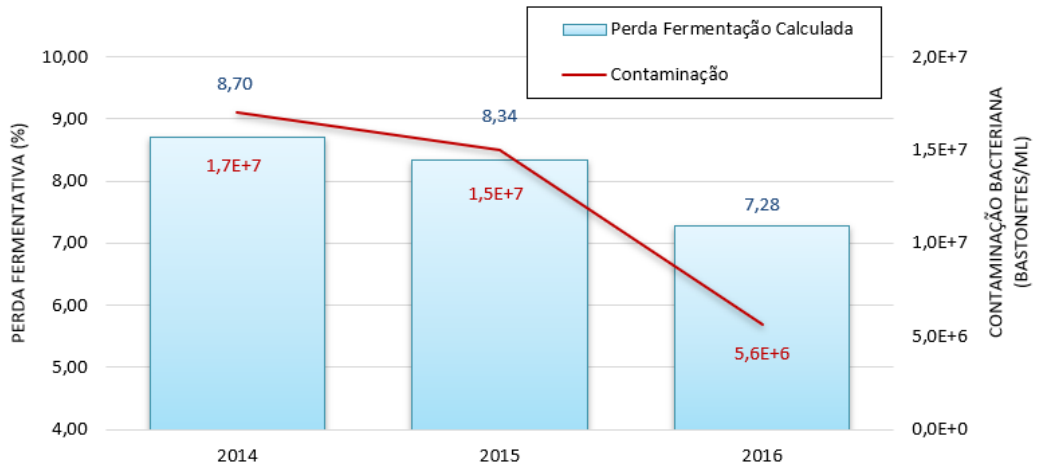

Figura 1 – Relação entre o Ano x Rendimento Fermentativo por ART (%) x Eficiência Industrial (%)
Fonte: Autoria própria (2024)

Brexó e Sant'Ana (2017) relatam que a contaminação bacteriana na fermentação é um dos principais vilões da produtividade industrial, do rendimento do produto e da qualidade destes produtos, devido à intoxicação de leveduras causada pelo processo ao qual elas estão inseridas. Tal fato se dá pela presença de ácidos que servem para degradar sacarose. Em outro trabalho, Muthaiyaan et al. (2011) destacam que a perda de produtividade é bastante significativa quando a contaminação atinge valores elevados, em detrimento aos preestabelecidos no processo industrial.

Os números apresentados na Figura 1 são fruto de um intenso trabalho de gestão da fermentação realizado pelas áreas da Qualidade e Produção da empresa em estudo desde 2015. Diariamente são feitas reuniões para analisar o processo e definir os parâmetros de trabalho para a dosagem de ácido sulfúrico e de dióxido de cloro, insumos utilizados no tratamento dos fermentos após a centrifugação e que atuam no controle da contaminação bacteriana na fermentação.

Os fermentos são analisados diariamente e os resultados das análises microbiológicas influenciam diretamente na tomada de decisão, pois sempre que 3 análises, ou seja, 33% delas atingem 10^7 bastonetes/mL há um aumento da dosagem de ácido sulfúrico para redução do pH de tratamento e do biocida dióxido de cloro, que atua no combate a essas bactérias, voltando aos parâmetros normais

quando os resultados ficam abaixo de $1,0x10^7$ bastonetes/mL. Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros das análises e a consequente dosagem dos insumos:

Tabela 1 – Parâmetros de trabalho para o controle da contaminação na fermentação

Contaminação Bacteriana (bastonetes/mL)	pH de tratamento (acidez)	Dióxido de Cloro (ppm)
$<1,0x10^7$	2,5	70
$>1,0x10^7$	2,4	100

Fonte: Autoria própria (2024)

A principal metodologia para medir o rendimento fermentativo, consiste na conversão do etanol produzido (m³) em Açúcares Redutores Totais – ART (t) (multiplica-se pela constante 1,4670) e a determinação do ART (t), presente no mosto que entrou na fermentação, utilizando medidores de vazão e amostrador contínuo ponderado para a coleta de amostras com a finalidade de quantificar o ART em laboratório.

Com a diminuição da perda na fermentação, há um aumento do rendimento fermentativo, fazendo com que a eficiência industrial tenda a aumentar. A eficiência industrial é calculada mensurando o total de ART presente na cana-de-açúcar que entra na usina, através das análises das amostras coletadas nas cargas dos caminhões de cana e o etanol produzido convertido em ART. Ou seja, o rendimento industrial é a porcentagem de ART (açúcar) da cana moída que foi convertido em etanol. O ART restante para 100% é o que foi perdido nos processos da indústria (extração, tratamento do caldo, fermentação e destilação), e são determinadas por análises em cada uma dessas etapas (ver Figura 2).

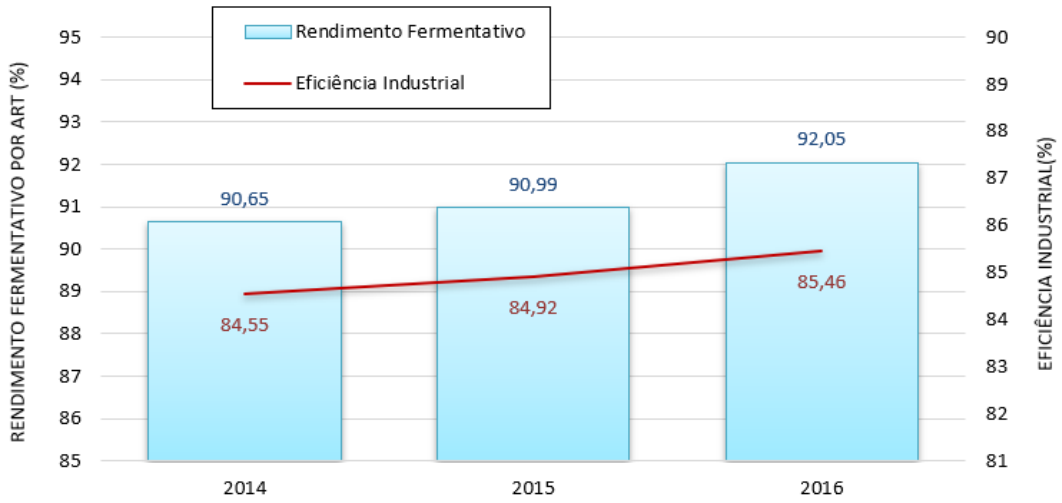

Figura 2 – Relação entre o Ano x Rendimento Fermentativo por ART (%) x Eficiência Industrial (%)
Fonte: Autoria própria (2024)

De acordo com a Figura 2, considerando as outras perdas do processo como iguais durante as safras de 2014, 2015 e 2016, pode-se verificar que a diminuição da perda na fermentação foi de 0,36% em 2015 e 1,42% em 2016 impactando no aumento do rendimento fermentativo (%) em 0,34% em 2015 e 1,40% em 2016, ou seja, essa é a quantidade de açúcar destinado à fermentação que deixou de ser consumido pelas bactérias, gerando ácidos não rentáveis e foram metabolizados pelas leveduras, gerando mais etanol graças à diminuição da contaminação bacteriana na fermentação.

O aumento da Eficiência Industrial em 2015 e 2016, em relação ao ano de 2014, foi bastante significativo, conforme mostra a Tabela 2. Nesta tabela, é possível observar que o preço médio praticado pela empresa em 2016, fornecido pela área de controladoria, é de R$ 1.792,00 o m³ de etanol.

Nota-se um ganho na receita de R$ 2.652.160,00 em 2015 e de R$ 6.822.144,00 em 2016, devido ao aumento da eficiência industrial que teve como justificativa a queda da perda da fermentação em decorrência da diminuição da contaminação bacteriana na fermentação.

Tabela 2 – Ganho de etanol devido aumento da Eficiência Industrial

	Ano 2015	Ano 2016
Aumento da eficiência industrial em relação a 2014 (%)	0,37	0,91
Produção total de etanol (m³)	399.906,14	418.317,57
Ganho em etanol (m³) na safra	1.480	3.807
Etanol em R$ (R$1.792,00/ m³)	2.652.160,00	6.822.144,00

Fonte: Autoria própria (2024)

Para diminuir a contaminação bacteriana na fermentação, aumentou-se a quantidade de insumos dosados no processo. A Tabela 3 mostra os gastos com ácido sulfúrico e dióxido de cloro.

Tabela 3 – Custo e Consumo de Insumos

Ano	Insumo	Quantidade (t)	R$	Consumo Específico
2014	Ácido Sulfúrico	1.627	743.687,02	4,17 kg/m³ EtOH
	Dióxido de Cloro	95	538.481,78	243,57 g/m³ EtOH
2015	Ácido Sulfúrico	1.642	1.590.464,24	4,11 kg/m³ EtOH
	Dióxido de Cloro	134	594.493,00	335,08 g/m³ EtOH
2016	Ácido Sulfúrico	1.880	893.961,56	4,49 kg/m³ EtOH
	Dióxido de Cloro	120	514.683,19	286,86 g/m³ EtOH

Fonte: Autoria própria (2024)

Ressalta-se que no ano de 2015 o preço do ácido estava bem acima dos outros anos, o que, segundo a empresa, deu-se pela escassez do produto no mercado, por isso, o consumo específico foi o mais baixo no referido ano. A economia do ácido em 2015 acarretou o aumento da dosagem de dióxido de cloro, na tentativa de minimizar o impacto dessa economia na contaminação, embora o dióxido seja mais eficiente em pH mais baixo, assim o consumo específico do dióxido ficou em 335,08 g/m³ EtOH, o maior no período analisado. Por isso, a redução da contaminação em 2015 para 2014 foi baixa, ($1{,}5x10^7$ em 2015 e $1{,}7x10^7$ bastonetes/mL em 2014), enquanto em 2016 com consumo específico dos dois insumos sendo mais altos, a contaminação foi de $5{,}6x10^6$ bastonetes/mL.

Tendo em vista a receita gerada com o aumento da produção de etanol e a diferença do gasto com insumos em 2015 e 2016 em relação a 2014, observa-se na Tabela 4, lucro de R$ 1.749.371,56 em 2015 e R$ 6.695.668,05 em 2016, comprovando, assim, a rentabilidade e a assertividade da empresa no controle da contaminação bacteriana na fermentação.

Tabela 4 – Custo e Consumo de Insumos

Ano	Receita (R$)	Diferença do Custo Total dos insumos (R$)	Lucro (R$)
2015	2.652.160,00	902.788,44	1.749.371,56
2016	6.822.144,00	126.475,95	6.695.668,05

* valores destacados em vermelho indicam os atributos com maior importância pela análise fatorial.
Fonte: Autoria própria (2024)

Conclusão

Através dos dados apresentados, nota-se a grande redução na contaminação bacteriana obtida ao longo do período analisado (2014, 2015 e 2016), caindo de $1,7x10^7$ em 2014, para $1,5x10^7$ em 2015 e $5,6x10^6$ bastonetes/mL em 2016. Ademais, tal redução da contaminação acarretou o aumento da eficiência industrial, sendo de 84,55% em 2014, 84,92% em 2015 e 85,46% em 2016. Esse ganho de eficiência resultou em 1.480 m³ de etanol a mais em 2015 e 3.807m³ em 2016.

Como consequência, o gasto com ácido sulfúrico e dióxido de cloro aumentou de R$ 1.282.168,80 em 2014, para R$ 2.184.957,24 em 2015, aumento influenciado também pela alta do preço do ácido sulfúrico, e para R$ 1.408.644,75 em 2016. Porém, o aumento do gasto com insumos se mostrou compensatório, devido ao aumento da produção de etanol ter gerado maior receita e, consequentemente, lucro para a empresa. O lucro obtido foi de R$ 1.749.371,56 em 2015 e R$ 6.695.668,05 em 2016.

Dado o exposto, sugere-se que o parâmetro de trabalho da contaminação bacteriana ($1,0x10^7$ bastonetes/mL), para dosagem de choque de ácido sulfúrico e dióxido de cloro, seja diminuído, pois se acredita que o aumento do consumo desses insumos e, consequentemente, do custo, seja compensado pela receita do etanol produzido a mais, aumentando o lucro da empresa e obtendo vantagens frente aos seus concorrentes. Como trabalhos futuros, sugere-se investigar outros setores como o processo de destilação, extração e tratamento do caldo para melhorar o desempenho da empresa e obter vantagens frente aos seus concorrentes.

Agradecimentos

Esta pesquisa contou com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Brasil.

Referências Bibliográficas

ANP – Agência Nacional de Petróleo. Disponível em: http://www.anp.gov.br. Acesso em: 25 jul. 2024.

BREXÓ, R. P., SANT'ANA, A. S. Impact and significance of microbial contamination during fermentation for bioethanol production, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 423–434, 2017.

DIAS, M. O. SOUZA.; MACIEL FILHO, R.; MANTELATTO, P. E.; CAVALETT, O.; ROSSELL, C. E. V.; BONOMI, A.; LEAL, M. R. L. V. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, v. 15. p. 35–51, 2015.

CAVALCANTI, T., JALLES, J. T. Macroeconomic effects of oil price shocks in Brazil and in the United States, **Applied Energy**, v. 104, p. 475-486, 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Supply Security: Emergency Response of IEA Countries**, 2014.

MANFREDI, A. P.; BALLESTEROS, I.; SÁEZ, F.; PETROTTI, N. I.; MARTÍNEZ, M. A.; NEGRO, M. J. Integral process assessment of sugarcane agricultural crop residues conversion to ethanol. **Bioresource Technology**, v. 260. p. 241-247, 2018.

MUTHAIYAN, A. LIMAYEM, A., RICKE, S. C. Antimicrobial strategies for limiting bacterial contaminants in fuel bioethanol fermentations. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 37. p. 351-370, 2011.

MYERS, R. J., JOHNSON, S. R., HELMAR, M., BAUMES, H. Long-Run and Short-Run Relationships between Oil Prices, Producer Prices, and Consumer Prices: What Can We Learn from a Permanent-Transitory Decomposition?. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, 2017.

NARENDRANATH, N. V.; HYNWA, S. H.; THOMAS, K. C.; INGLEDEW, W. M. Effects of lactobacilli on yeast- catalyzed ethanol fermentation. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 63, n. 11, p. 4158-4163, 1997.

OLIVA-NETO, P.; YOKOYA, F. Effects of nutritional factors on growth of Lactobacillus fermentum mixed with Saccharomyces cerevisiae in alcoholic fermentation. **Revista de Microbiologia**, v. 28, p. 25-31, 1997.