

# CONTAMINAÇÃO BACTERIANA NA FERMENTAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NA EFICIÊNCIA INDUSTRIAL DE UMA USINA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Fernando Andrade de Oliveira<sup>1</sup>

Darlan Marques da Silva<sup>2</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é comprovar se o controle da contaminação bacteriana na fermentação impacta na eficiência industrial de uma usina produtora de etanol 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. O estudo foi realizado em uma usina produtora de etanol, a partir da cana-de-açúcar, localizada no município de Quirinópolis, sudoeste de Goiás. Foi realizada uma pesquisa *in loco*, no histórico de dados industriais da usina, no *software SAP MII*, responsável pelos cálculos e registro dos indicadores industriais da empresa. Os indicadores de interesse deste trabalho (contaminação bacteriana, perda da fermentação, rendimento fermentativo por balanço de ART, eficiência industrial, consumo, custo de insumos e produção de etanol) foram tabulados no *Excel 2013* para posterior análise. Através dos dados analisados e apresentados, foi evidenciado o ganho na eficiência industrial por meio do controle da contaminação bacteriana na fermentação e que, mesmo aumentando o gasto com insumos, esse controle mostrou-se 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:** Contaminação bacteriana. Fermentação. Eficiência Industrial. Etanol.

---

<sup>1</sup>Acadêmico do curso de graduação em Engenharia de Produção.

<sup>2</sup> Professor da Universidade de Rio Verde – Orientador.

# 1 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 (PEREIRA, 2007).

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) (OHASHI, 2008).

Historicamente, a cana-de-açúcar sempre foi uma das principais culturas do Brasil, estando o país qualificado tecnicamente e com os menores custos de produção do mundo, além da potencial capacidade de aumento da produtividade (RODRIGUES, 2010). A comercialização do açúcar e do etanol tem representado importante parcela na geração do Produto Interno Bruto (PIB) pelo viés do agronegócio nacional (JÚNIOR *et al*, 2012).

Os biocombustíveis têm se tornado uma alternativa em relação aos combustíveis fósseis, devido à crescente conscientização das pessoas em relação ao meio ambiente. Ademais, as usinas têm buscado operar com mais eficiência, inclusive, gerando energia elétrica, o que contribui para a sustentabilidade da atividade (CONAB, 2016).

Ceballos-Schiavone (2009) relata que a contaminação bacteriana na fermentação impacta diretamente na produtividade e no rendimento final, devido à degradação da sacarose para geração de ácidos, ao invés de etanol, e intoxicação das leveduras causadas por esses ácidos.

Mediante tamanha importância do assunto, este trabalho tem o objetivo de comprovar se o controle da contaminação bacteriana na fermentação impacta na eficiência industrial de uma usina produtora de etanol 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.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 FONTES ENERGÉTICAS**

O avanço da tecnologia e as fontes de energia existentes contribuíram muito para o desenvolvimento da economia e para o bem-estar da população (GOLDEMBERG E MOREIRA, 2005). De acordo com Gadelha (2008) e Bronzatti e Neto (2008), o consumo de eletricidade, taxa de desemprego e PIB real são interligados, ou seja, o crescimento econômico é dependente de energia.

Segundo Uebel (2013), para garantir o suprimento dos recursos energéticos, países com capacidade de fornecimento insuficiente desses, necessitam importá-los, desviando, assim, verbas que poderiam ser empregadas no desenvolvimento e na produção de energias alternativas, o que diminuiria a dependência de outras nações.

É indelével a responsabilidade do Estado de assegurar as condições de infraestrutura básica para dar sustentação ao desenvolvimento econômico e social do país, sendo assim, em 15 de março de 2004, foram promulgadas as Leis nº 10.847 e 10.848 que tratam, respectivamente, da criação da Empresa de Pesquisa em Energia (EPE) e de um novo arcabouço das regras de comercialização de energia elétrica (PNE 2030, 2007).

Conforme dados do Ministério de Minas e Energia (2016), a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira, passou de 39,4% em 2014 para 41,2% em 2015. O etanol e o bagaço de cana-de-açúcar tiveram a maior participação entre as renováveis, com 41,1%, seguidos da energia gerada por hidrelétricas (27,5%), lenha e carvão vegetal (19,9%), biodiesel (2,5%) e eólica (1,5%). Esses indicadores são superiores aos dos países desenvolvidos que têm 9,4% de renováveis.

### **2.2 PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL**

A aplicação industrial da energia de biomassa em grande escala é histórica no Brasil, devido a fatores como a disponibilidade de biomassa, mão de obra barata e a rápida urbanização e industrialização (GOLDEMBERG e LUCON, 2007). Os autores citam como bons exemplos dessa aplicação: a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar (*Saccharum*

sp) e do carvão vegetal de eucaliptos, e a cogeração de eletricidade do bagaço e o uso da biomassa de indústrias de papel e celulose (cascas e resíduos de árvores, serragem, licor negro etc.).

Historicamente, a cana-de-açúcar sempre foi uma das principais culturas do país e, hoje, o Brasil ocupa a primeira posição no ranking mundial de cultivo. Paralelamente, o setor sucroalcooleiro contribui com aproximadamente 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos, contando com mais de 72.000 agricultores e 373 usinas e destilarias, em operação ou projeto (RODRIGUES, 2010).

Segundo dados da União das Indústrias de Cana-de-Açúcar - UNICA (2007), associação que reúne as empresas que produzem mais da metade da cana-de-açúcar do país, 52% da produção brasileira destina-se à produção de etanol (hidratado e anidro) e 48% para a produção de açúcar. O Brasil é o maior exportador mundial de açúcar, respondendo por 45% do total comercializado no mundo. Em relação à produção de etanol, o Brasil ocupa a vice-liderança nas exportações, perdendo apenas para os Estados Unidos (CIB, 2009).

Para Masson (2013), os biocombustíveis apresentam grande vantagem em relação aos combustíveis fósseis, devido à emissão de menos quantidade de dióxido de carbono e outras partículas poluentes. O etanol hidratado pode abastecer os veículos *flexfuel*, enquanto o etanol anidro é misturado à gasolina, o que torna o combustível mais barato, aumenta sua octanagem e reduz a emissão de poluentes, além de poder ser utilizado na fabricação de tintas, vernizes, solventes, etc. (CONAB, 2016).

Segundo a ANP – Agência Nacional de Petróleo (2016), a produção de etanol total no Brasil em 2015 foi de 30.016.294 m<sup>3</sup>, 1,1% maior que em 2013 e em 2014. As regiões que mais produziram foram a Sudeste, com 17.269.470 m<sup>3</sup> (57,53%) e a Centro-Oeste, com 8.837.999 m<sup>3</sup> (29,44%). As regiões Nordeste, Sul e Norte produziram, juntas, 3.908.825 m<sup>3</sup> (13,03%). Os Estados que mais produzem etanol são, atualmente, São Paulo e Goiás, responsáveis por mais de 50% da oferta do biocombustível no país.

## **2.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL**

A cadeia produtiva da cana-de-açúcar é composta pelos setores agrícola e industrial. O subsistema agrícola ocupa-se, exclusivamente, da matéria-prima e abrange as etapas de preparo do solo, plantio, tratos culturais (irrigação, adubação e outros), colheita e transporte

até a usina. O subsistema industrial tem início com a chegada da cana-de-açúcar na planta industrial (RODRIGUES, 2010).

A Figura 1 ilustra o fluxograma industrial do processo de produção do etanol, salienta-se que as demais subseções retratarão, de forma fidedigna, o escopo do fluxo abaixo.

**FIGURA 1:** Fluxograma do processo de produção do etanol



Fonte: MACHADO, 2014.

### 2.3.1 EXTRAÇÃO E TRATAMENTO DO CALDO

O processo é iniciado no setor de extração (moagem), onde ocorre a retirada do caldo, por meio do esmagamento por moenda ou difusor. O caldo obtido é misturado à água de embebição, utilizada para ajudar na extração dos açúcares do bagaço, contém entre 78% e 86% de água, 10% e 20% de sacarose, além de outras substâncias em menor quantidade (LIMA *et al.*, 2001).

O caldo segue para a etapa conhecida como tratamento do caldo, em que será clarificado (limpo) por meio de aquecimento, decantação e filtração, para separar os sólidos insolúveis, sendo este tratamento essencial para que o processo fermentativo seja saudável e

livre de contaminantes advindos da cana. O produto dessa etapa é o mosto, caldo de cana isento de impurezas que será enviado para a fermentação (LIMA *et al.*, 2001).

### 2.3.2 FERMENTAÇÃO E DESTILAÇÃO

Segundo Amorim *et al.* (1996) e Zanaroti (2007), as leveduras do gênero *Saccharomyces* são micro-organismos que realizam a fermentação do açúcar (substrato) com o objetivo de conseguir a energia química necessária à sua sobrevivência em: condições aeróbicas, em que na presença de oxigênio, os açúcares são metabolizados a dióxido de carbono e água, com produção máxima de adenosina trifosfato - ATP (energia química) ou anaeróbicas, sem oxigênio, com baixa liberação de ATP por molécula de açúcar consumida e alta produção de etanol, substância de interesse.

A rápida metabolização do açúcar em etanol e a grande resistência desse micro-organismo decorrente, em relação ao processo industrial e às diversas situações inerentes como alta concentração de produto formado (etanol), grandes variações de temperatura e ambiente ácido, torna-o o mais indicado para esse processo (ANDRIETTA *et al.*, 2006).

De acordo com Tosetto (2003), existem três maneiras para a condução da fermentação:

- Batelada: O mosto e o inóculo (leveduras) são adicionados ao reator no início de cada batelada. A cada rodada o reator é limpo e preparado para outro ciclo, deixando o processo mais lento.
- Batelada alimentada (*Melle-Boinot*): O substrato é adicionado, parceladamente ou de forma contínua ao reator, alimentando o inóculo, até atingir um valor limite. Nesse caso, há o reaproveitamento do inóculo que é separado do vinho por centrifugação;
- Contínua: O produto é retirado, continuamente, à mesma vazão de alimentação do reator, não sofrendo interrupções. O fluxo é contínuo, diminuindo assim, o efeito inibitório do etanol e do substrato.

Durante a fermentação do mosto nos reatores, também chamados de dornas de fermentação, podem ocorrer diversos problemas, entre eles a contaminação bacteriana devido à temperatura, acidez, concentração de açúcares e nutrientes favoráveis também a esses micro-organismos (CHERUBIN, 2003).

As bactérias presentes nos reatores consomem o açúcar destinado às leveduras para a produção de etanol, porém produzem os ácidos lático e acético, os quais não são de interesse das usinas, o que ocasionou perda de substrato, além de esses ácidos causarem intoxicação nas leveduras (OLIVA-NETO e YOKOYA, 1997).

Para Narendranath *et al.* (1997), a perda na fermentação, causada pela contaminação bacteriana, e a conseguinte queda do rendimento fermentativo é óbvia, pois a cada molécula de glicose convertida em duas de ácido lático, duas moléculas de etanol deixam de serem produzidas pelas leveduras.

Após a fermentação, o mosto torna-se, basicamente, uma mistura de água e etanol com pequena quantidade de compostos orgânicos, conhecida como vinho e é enviado para a destilação, etapa que tem como objetivo separar o etanol das demais substâncias presentes. Através da diferença das temperaturas de ebulição dessas substâncias, ou seja, como cada uma evapora numa determinada temperatura, elas são passíveis de separação nos aparelhos de destilação (LIMA *et al.*, 2001).

### **3 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 de Goiás. A empresa possui alta tecnologia, o que possibilita monitorar e historiar todo o processo pelo COI (Centro de Operações Industriais) e é considerada uma das mais modernas do mundo.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica, o que de acordo com Lima e Mito (2007), é importante para a produção do conhecimento científico, pois ela gera e postula fundamentação teórica ao objeto de estudo, e subsidia a análise dos resultados que serão alcançados no estudo de caso.

A pesquisa ainda caracteriza-se como um estudo de caso. Pois, segundo Yin (2005), estudo de caso é uma estratégia de pesquisa abrangente que trata de planejamento, coleta de dados e análise desses, e é indicado quando se pretende identificar o como e o porquê de um evento ou fenômenos contemporâneos, podendo eles serem únicos ou múltiplos.

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*, o que possibilitou a análise.

Por meio 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, conseqüentemente, aumentando a eficiência industrial.

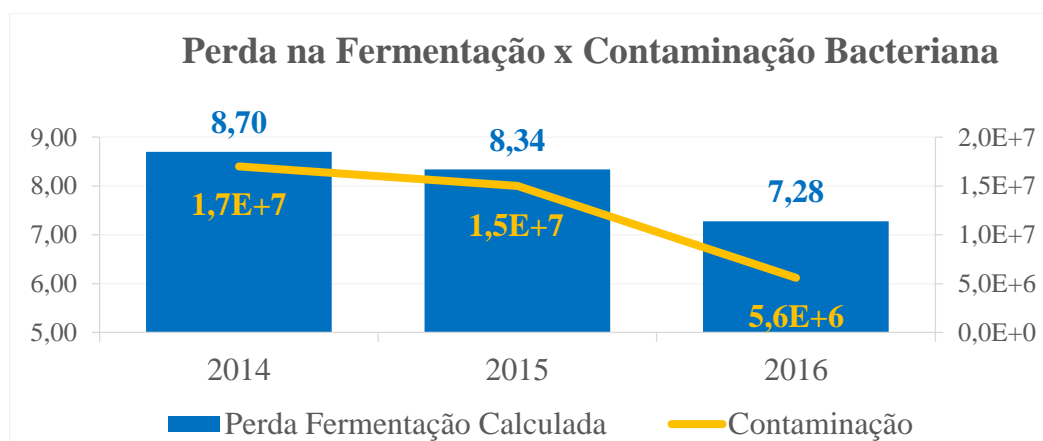
Após essa análise, também foi comparado o gasto onerado do controle da contaminação e o retorno advindo da redução da perda na fermentação, no intuito de comprovar se os parâmetros de trabalho estão gerando receita para a empresa ou se o aumento do custo com insumos está maior que o ganho em etanol,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

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada uma pesquisa no histórico de dados industriais da Usina, para se 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 2).

De acordo com a Figura 2, pode-se notar a progressiva diminuição da perda na fermentação, ocasionada, diretamente, pela queda da contaminação bacteriana. Conforme 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 2:** Perda na Fermentação (%) x Contaminação Bacteriana (bast/ml)



Fonte: Saída do *Excel 2013* (2017)



Ceballos-Schiavone (2009) relata que a contaminação bacteriana na fermentação impacta, diretamente, na produtividade e no rendimento final, devido à degradação da sacarose para geração de ácidos, ao invés de etanol, e à intoxicação das leveduras, causadas por esses ácidos. Em outro trabalho, Amorim *et al.* (1981) destacam que a perda de produtividade é bastante significativa quando a contaminação ultrapassa  $1,0 \times 10^7$  bastonetes/ml.

Os números apresentados na figura 2 são fruto de um intenso trabalho de gestão da fermentação, realizado pelas áreas da Qualidade e Produção desde 2015. Diariamente, são feitas reuniões para análise do processo e definição dos parâmetros de trabalho para dosagem de ácido sulfúrico e dióxido de cloro, insumos utilizados no tratamento dos fermentos após a centrifugação, e tais insumos atuam no controle da contaminação bacteriana na fermentação.

Como a fermentação funciona em batelada alimentada, o fermento é separado em 10 partes iguais para nove dornas de fermentação, assim, sempre tem um fermento sendo tratado nas cubas de tratamento, aguardando para ocupar uma dorna de fermentação. Esses fermentos são recuperados por centrífugas, tratados e utilizados novamente em um novo processo de fermentação do mosto, não havendo contato entre eles.

Esses fermentos são analisados, diariamente, e os resultados das análises microbiológicas influenciam diretamente na tomada de decisão, pois sempre que três 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 atuam no combate a essas bactérias, voltando aos parâmetros normais, quando os resultados ficam abaixo de  $1,0 \times 10^7$  bastonetes/ml. Abaixo, a tabela com os parâmetros das análises e a consequente dosagem dos insumos:

**TABELA 1:** Parâmetros de trabalho para o controle da contaminação na fermentação

<i>Contaminação Bacteriana (bastonetes/ml)</i>	<i>pH de tratamento (acidez)</i>	<i>Dióxido de Cloro</i>
$<1,0 \times 10^7$	2,5	70 ppm
$>1,0 \times 10^7$	2,4	100 ppm

Fonte: Saída do @Excel 2013 (2017)

A perda na fermentação é a mais significativa em usinas produtoras apenas de etanol, já que 100% do caldo extraído é destinado para a produção de etanol. Quando há fabricação

de açúcar, o caldo é dividido entre os dois processos, diminuindo, assim, o impacto dessa perda na eficiência industrial. Além dessa, também há perda de açúcar no bagaço, resultante da extração do caldo; na torta, resultante do processo de filtração; na vinhaça e flegmaça, na fase de destilação; na água residuária, proveniente das canaletas da área industrial para onde vai todo o material do processo que, por ventura, seja derramado; e a perda indeterminada, quando não se consegue determinar onde se perdeu parte do açúcar disponível.

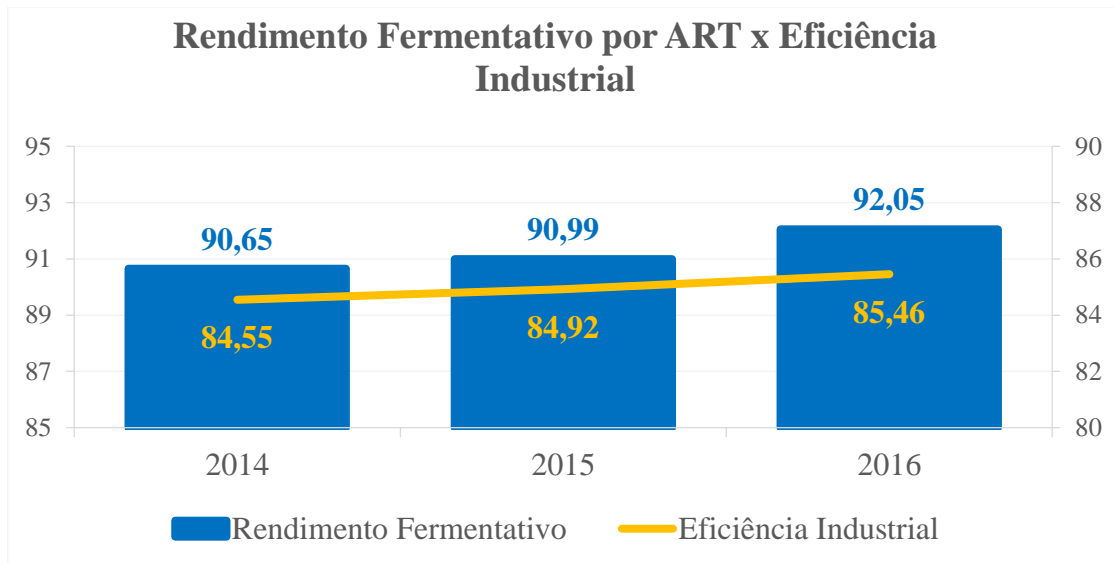
Na década de 70, o rendimento fermentativo era entre 75% e 80% (AMORIM e LEÃO, 2005). A sequência de eventos desencadeados pelo Proálcool (bons e ruins) gerou grande avanço da tecnologia, o que possibilitou a elevação do rendimento fermentativo para mais de 90% nos dias atuais (ALVES e BARROS, 2011).

A principal metodologia para medir o rendimento fermentativo ( $RF(\%)$ ) consiste na conversão do etanol produzido ( $m^3$ ) 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-se para isso de medidores de vazão e amostrador contínuo, ponderado para coleta de amostras para quantificação do ART em laboratório, conforme descrito por Fernandes (2011), Fórmula 1:

$$RF(\%) = \frac{\text{Etanol em ART}}{\text{ART do mosto}} * 100 \quad (1)$$

Com a diminuição da perda na fermentação, há um aumento do rendimento fermentativo, fazendo com que a eficiência industrial ( $EI(\%)$ ) tenda a aumentar. A eficiência industrial é calculada, mensurando o total de ART presente na cana-de-açúcar que entra na usina por meio 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. O cálculo é feito conforme descrito por Fernandes (2011), Fórmula 2:

$$EI(\%) = \frac{\text{Etanol em ART}}{\text{ART da cana}} * 100 \quad (2)$$

**FIGURA 3:** Rendimento Fermentativo por ART (%) x Eficiência Industrial (%)

Fonte: Saída do *Excel* 2013 (2017)

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 *RF*(%) 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 que 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 abaixo:

**TABELA 2:** Ganho de etanol devido ao aumento da Eficiência Industrial

<i>Ano</i>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Aumento da Eficiência Industrial em relação a 2014 (%)	0,37	0,91
Produção total de etanol (m <sup>3</sup> )	399.906,14	418.317,57
Ganho em etanol (m <sup>3</sup> ) na safra	1.480	3.807
Etanol em R\$ (R\$1.792,00/ m <sup>3</sup> )	<b>2.652.160,00</b>	<b>6.822.144,00</b>

Fonte: Saída do *Excel* 2013 (2017)

Observando a tabela 2, e tendo utilizado o preço médio praticado pela empresa em 2016, fornecido pela área de controladoria, de R\$ 1.792,00 o m<sup>3</sup> de etanol, nota-se um ganho na receita de R\$ 2.652.160,00 milhões em 2015 e de R\$ 6.822.144,00 milhões em 2016, devido ao aumento da eficiência industrial que teve como justificativa a queda na perda da fermentação, em decorrência de ter diminuído a contaminação bacteriana na fermentação.

Para diminuir a contaminação bacteriana na fermentação, houve aumento da 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

<i>Ano</i>	<i>Insumo</i>	<i>Quantidade (toneladas)</i>	<i>R\$</i>	<i>Consumo Específico</i>
2014	Ácido Sulfúrico	1.627	743.687,02	4,17 Kg/m <sup>3</sup> EtOH
	Dióxido de Cloro	95	538.481,78	243,57 g/m <sup>3</sup> EtOH
2015	Ácido Sulfúrico	1.642	1.590.464,24	4,11 Kg/m <sup>3</sup> EtOH
	Dióxido de Cloro	134	594.493,00	335,08 g/m <sup>3</sup> EtOH
2016	Ácido Sulfúrico	1.880	893.961,56	4,49 Kg/m <sup>3</sup> EtOH
	Dióxido de Cloro	120	514.683,19	286,86 g/m <sup>3</sup> EtOH

Fonte: Saída do *Excel* 2013 (2017)

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 no aumento da dosagem de dióxido de cloro, na tentativa de minimizar o impacto dessa economia na contaminação, embora o dióxido seja mais eficiente por possuir pH mais baixo, assim o consumo específico do dióxido ficou em 335,08 g/m<sup>3</sup> EtOH, o maior no período analisado. Por isso, a redução da contaminação em 2015 para 2014 foi baixa, ( $1,5 \times 10^7$  em 2015 e  $1,7 \times 10^7$  bastonetes/ml em 2014), enquanto que em 2016, com o consumo específico dos dois insumos sendo mais alto, a contaminação foi de  $5,6 \times 10^6$  bastonetes/ml.

Calculando o lucro obtido, conforme fórmula 3, segundo Moreira (2008), tem-se os resultados apresentados abaixo (resultados na tabela 4):

$$Lucro(R\$) = Receita - Custo total \quad (3)$$

**TABELA 4:** Lucro (R\$) obtido pela redução da contaminação bacteriana.

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

Fonte: Saída do *Excel* 2013 (2017)

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.

## 5 CONCLUSÕES

Por meio dos dados apresentados, nota-se a grande redução na contaminação bacteriana obtida ao longo do período analisado (2014, 2015 e 2016), caindo de  $1,7 \times 10^7$  em 2014, para  $1,5 \times 10^7$  em 2015 e  $5,6 \times 10^6$  bastonetes/ml em 2016. Ademais, tal redução da contaminação acarretou no aumento da eficiência industrial, já que a empresa analisada saiu do percentual de 84,55% em 2014, 84,92% em 2015 para 85,46% em 2016. Esse ganho de eficiência resultou em  $1.480 \text{ m}^3$  de etanol a mais em 2015 e  $3.807 \text{ m}^3$  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, conseqüentemente, 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 ( $1,0 \times 10^7$  bastonetes/ml), para dosagem de choque de ácido sulfúrico e dióxido de cloro, seja diminuído, pois acredita-se que o aumento do consumo desses insumos, e, conseqüentemente do custo, seja compensado pela receita do etanol produzido a mais, o que aumentará o lucro da empresa e a fará obter vantagens frente aos seus concorrentes.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, L. R. A.; BARROS, M. B.; **Ganhos Econômicos da Eficiência Industrial de Destilarias de Álcool que Receberam Consultoria: o Caso de Empresas Atendidas pela Fermentec Ltda.** Informe Gepec, Toledo, v. 15, n. 2, p. 36-58, jul./dez. 2011.
- AMORIM, H.V.; BASSO, L.C.; ALVES, D.G. **Processos de produção de álcool – controle e monitoramento.** Piracicaba: FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP, 1996, 93 p.
- AMORIM, H.V.; LEÃO, R.M. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia.** Piracicaba: FERMENTEC, 2005. 448 p.
- AMORIM, H. V.; OLIVEIRA, A. J.; CAMPOS, H. **Infecção, problema sério na produção de álcool.** Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros do Brasil, 2., Rio de Janeiro, 1981. Anais... Piraciaba: Stab. P. 158-168.1981
- ANDRIETTA, M.G.S. ANDRIETTA, S.R. STECKELBERG, C. STUPIELLO, E.N.A. **Bioethanol – Brazil, 30 years of Proálcool.** International Sugar Journal, London: v. 109, p. 195-200, 2006. Biocontal (2011).
- ANP – Agência Nacional de Petróleo. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 25 out. 2016.
- BRONZATTI, F. L.; NETO, A. I. **MATRIZES ENERGÉTICAS NO BRASIL: CENÁRIO 2010-2030.** XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.
- CEBALLOS SCHIAVONE, C. A. D. M. **Tratamento térmico do caldo de cana-de-açúcar visando a redução de contaminantes bacterianos – Lactobacillus – na produção de etanol e eficiência de tratamento do fermento por etanol.** 2009. 177 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.
- CHERUBIN, R. A. **Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica.** 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- CIB - CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. Guia da Cana-de-açúcar – Avanço Científico Beneficia o País. Setembro, 2009. Disponível em: <http://www.cibpt.org/index.php>. Acesso em: 22 out. 2016.
- CONAB; Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar.** 2016. V. 2 - SAFRA 2015/16- N.4 - Quarto levantamento | ABRIL 2016
- FERNANDES, A. C.; **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-Açúcar.** Editora Stab, 3ª Ed. 2011.
- GADELHA, S. R. de B. **Consumo de Eletricidade e Crescimento Econômico no Brasil.** 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos avançados, São Paulo vol.21 no.59 São Paulo Jan./Apr. 2007.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. **Política energética no Brasil**. Estudos avançados, São Paulo vol.19 no.55 São Paulo Sept./Dec. 2005.

JÚNIOR, B. C. A.; ABRANTES, A. L.; GOMES, P. A.; GONÇALVES, L. M. R. **Eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo**. *Revista Ambiente Contábil*. Natal, v.4 n.2, p. 74-92, 2012.

LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial**. Ed. Edgar Blúcher. São Paulo. 2001, v. 3, p. 1-40.

LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. **Procedimentos Metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica**. *Rev. Katál*. Florianópolis v. 10 n. esp. p. 37-45 2007.

MACHADO, B. G. **Fabricação de Açúcar e Etanol a partir da Cana-de-açúcar**. 2014. Disponível em: <<http://www.portaldobiogas.com/fabricacao-de-acucar-e-etanol-partir-da-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 12 de Outubro de 2016.

MASSON, I. S. **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar**. 2013. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária). Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2013.

MME – Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 15 nov. 2016.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. Cengage Learning, 2º Ed. São Paulo: 2008.

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, Nov. 1997.

OHASHI, H. F. **O advento, crescimento, crise e abandono do Proálcool**. 2008.46f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

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.

PEREIRA, T. V. G. **O setor alcooleiro: Da rígida intervenção ao processo de desregulamentação**. 2007. 85f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PNE 2030 – Plano Nacional de Energia 2030. 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br><PNE. Acesso em: 23 out. 2016.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como Matéria-prima para a Produção de Biocombustíveis: Impactos Ambientais e o Zoneamento Agroecológico como**

**Ferramenta para Mitigação.** 2010. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

TOSETTO, G. M. **Influência da Matéria-Prima no Comportamento Cinético de Levedura na Produção de Etanol.** 2002. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

UEBEL, R. R. G. **Reflexões geopolíticas: a questão da energia e seus casos específicos nos séculos XX e XXI.** Revista de Geopolítica, v. 4, nº 1, p. 169 –181, jan./jun. 2013.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Usina Virtual. 2007. Disponível em: <http://www.unica.com.br/usina-virtual>. Acesso em: 22 out. 2016.

Yin, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 3 ed. Porto Alegre: Brookman, 2005. 212 p.

ZANAROTI, W.A. **Processo fermentativo do mosto de cana-de-açúcar para obtenção do etanol.** 2007. Monografia (Graduação em Tecnologia em Produção Sucroalcooleira). Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, 2007.