

**Processo fermentativo na indústria sucroalcooleira**

Edson Vanzella<sup>1</sup>, Reinaldo Aparecido Bariccatti<sup>1</sup>, Carlos Eduardo Camargo Nogueira<sup>1</sup>,  
Viviane Cavaler Micuanski<sup>1</sup>, Matheus Antônio da Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, PPGA – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura – Nível Mestrado, Cascavel-PR.

edson.vanzella@hotmail.com, bariccatti@yahoo.com.br, cecn1@yahoo.com.br, vivis2s2@hotmail.com,  
apenas\_mat@hotmail.com

**Resumo:** A crescente necessidade de ampliar de modo sustentável o uso de fontes renováveis de energia, para proporcionar maior segurança ao suprimento energético e reduzir os impactos ambientais associados aos combustíveis fósseis, encontra no etanol de cana-de-açúcar uma alternativa economicamente viável e com significativo potencial de expansão. Sua produção é efetuada geralmente em unidades agroindustriais que produzem também açúcar (usinas), cujo processo resulta em um melaço final que pode, junto com o caldo de cana, compor mostos fermentáveis que dão origem ao biocombustível. Assim, consegue-se uma boa sinergia entre os dois processos produtivos, que utilizam em comum os equipamentos de extração do caldo (tipicamente moendas, e mais recentemente, difusores), assim como de preparo do caldo. Nos processos fermentativos, as células vivas agregam os sistemas multienzimáticos, e seu funcionamento depende de uma série complexa de reações. Integrações altamente coordenadas dessas reações definem as vias metabólicas de utilização do substrato pelos microrganismos. A fermentação alcoólica acontece devido à ação das leveduras que usam os açúcares do mosto para seu crescimento e multiplicação, resultando na formação de álcool e anidrido carbônico. Enquanto existe oxigênio no mosto, a levedura cresce e se multiplica. Quando este acaba começa a produção de álcool e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**Palavras-chave:** etanol, fermentação alcoólica, leveduras.

**Fermentation process in the sugarcane industry**

**Abstract:** The growing need to expand in a sustainable manner the use renewable energy sources to provide greater security to energy supply and reduce the environmental impacts associated to the fossil fuels, finds in cane sugar ethanol an economically viable alternative and with significant potential of expansion. Its production is usually made in agroindustrial units that also produce sugar (plants), whose process results in a final molasses which can, along with the broth, compose fermentable worts that originate the biofuel. Thus, one can obtain a good synergy between the two processes, using common equipment for extraction of broth (typically mills, and more recently, diffusers) as well of prepare the broth. In fermentation processes, living cells aggregate multienzyme systems, and their operation depends on a complex series of reactions. Integrations highly coordinated of these reactions defines the metabolic pathways of substrate utilization by the microorganisms. The alcoholic fermentation takes place due to the action of yeasts that use the wort sugars for their growth and multiplication, resulting in the formation of alcohol and carbon anhydride. While exists oxygen in the wort, the yeast grows and multiplies. When this ends begins the production the alcohol and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>).

**Key words:** ethanol, alcoholic fermentation, yeasts.

### Introdução

Conforme Santos, (2008) entende-se por fermentação, o processo de metabolismo anaeróbico de produção de energia em que os microrganismos oxidam parcialmente o substrato, atuando sobre um ou mais componentes, gerando produtos modificados de forma a obter características desejáveis.

Pacheco, (2010) relata que as leveduras são os microrganismos mais importantes na obtenção do álcool por via fermentativa, sendo o gênero *Saccharomyces* um dos grupos mais estudados pela comunidade científica. Esse interesse é devido a sua ampla aplicação na indústria de biotecnologia, havendo relatos de sua utilização como agente de transformação desde o ano de 1.800.

Assim, segundo Souza, (2009), a fermentação é um processo biológico conduzido por leveduras, que são organismos vivos com múltiplas habilidades metabólicas que podem alterar a estequiometria da fermentação em resposta a alterações do meio, com grande impacto no rendimento do processo. Este microrganismo realiza a fermentação do açúcar com o objetivo de adquirir energia química necessária à sua sobrevivência, sendo o etanol somente um subproduto desse processo. Portanto, é desejável produzir tanto álcool, quanto conhecer as condições ideais para as leveduras produzirem etanol com maior eficiência.

Para que realmente seja economicamente viável, o processo produtivo do etanol necessita de cuidados específicos em cada etapa de produção. No processo fermentativo, as condições do meio sofrem influências de todas as etapas antecedentes. Desde a colheita da cana-de-açúcar até a formação do mosto, precauções devem ser tomadas para preservar o caldo nas melhores condições físicas e químicas possíveis, para que favoreçam os microrganismos (leveduras), resultando em conversões elevadas de substrato em álcool.

A partir de uma revisão bibliográfica, este trabalho apresenta os aspectos que diretamente e indiretamente influenciam a fermentação alcoólica na cadeia produtiva do etanol.

### Material e Métodos

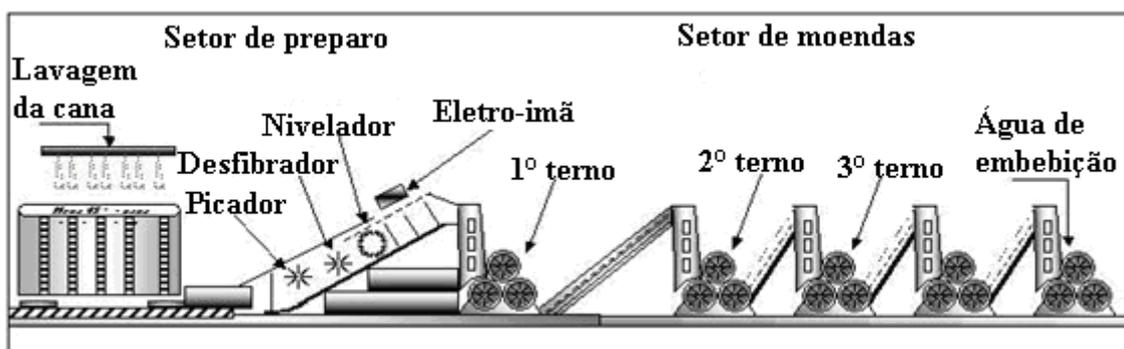
Este trabalho está baseado em uma revisão bibliográfica, seguindo estudos de diversos autores, obtendo respostas, confrontando dados e apresentando um panorama sobre o tema em questão, com suas peculiaridades, problemas e possíveis soluções. São utilizadas

publicações disponíveis na internet, oriundas de trabalhos de teses, dissertações e estudos científicos orientados para a fermentação alcoólica.

### Resultados e Discussão

A extração do caldo da cana para a posterior produção do álcool ou do açúcar passa por várias etapas. De acordo com Lima e Ferraresi, (2006) na primeira, após o descarregamento, a cana é lavada e alimenta as esteiras através da mesa alimentadora. Em seguida, passa pelo setor de preparo (nivelador, picador e desfibrador) e posteriormente pelas moendas. O objetivo básico do preparo da cana é aumentar a sua densidade (após picada, maior quantidade de cana ocupa um mesmo espaço, comparando-se com a cana inteira), bem como, realizar o máximo rompimento das células para liberação do caldo nelas contido, obtendo-se uma maior eficiência de extração. A moagem é um processo que visa extrair o caldo contido na cana já desfibrada, ao fazê-la passar entre dois rolos submetidos à determinada pressão e rotação. Um objetivo secundário da moagem, porém importantíssimo, é a produção de um bagaço final em condições de propiciar uma queima rápida nas caldeiras.

Na Figura 1 está representado o processo de extração do caldo, desde a lavagem da cana, o preparo da matéria-prima, a passagem pelo eletroímã (retirada de metais), o transporte da cana picada e desfibrada até os ternos de moagem e a embebição com água quente.



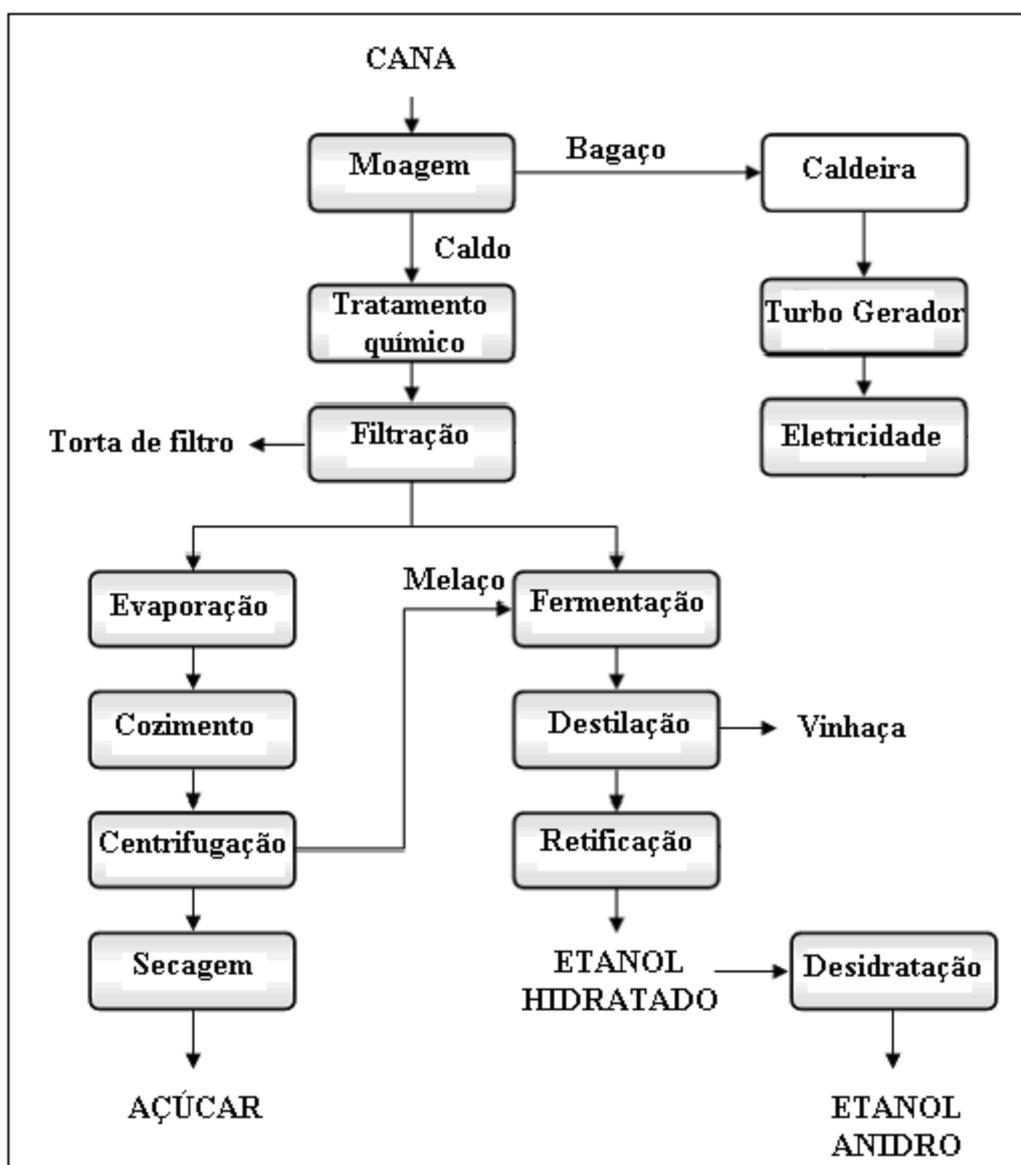
**Figura 1.** Esquema dos equipamentos de preparo e extração do caldo.

Fonte: Lima e Ferraresi, (2006)

Além da moagem, o caldo pode ser extraído por difusão. A difusão consiste na condução da cana em aparelhos conhecidos como difusores, a fim de que a sacarose adsorvida ao material fibroso seja diluída e removida por lixiviação ou lavagem num processo de contracorrente. Com a utilização de difusores obtém-se eficiência de extração da ordem de 98%, contra os 96% conseguidos com a extração por moendas (Alcarde, 2007).

Embora se possa fazer a fermentação do caldo bruto, é prática comum clarificá-lo por meio de correção do pH, aquecimento, decantação e filtração para separar colóides, gomas e materiais nitrogenados. O caldo torna-se um mosto mais limpo, que fermenta melhor, espuma menos e suja pouco as colunas de destilação. Após a clarificação resfria-se o caldo e envia-se às dornas de fermentação (Lima et. al., 2001).

A fermentação tem início após o preparo do mosto, que é constituído de uma mistura de caldo, melação e água. O melação, também chamado de mel final, é um subproduto do processo de produção do açúcar, e por estar em altas concentrações, deve ser diluído em água ou no próprio caldo, para não elevar os teores de açúcar do mosto. Na Figura 2 está representado o esquema produtivo do açúcar e do etanol.

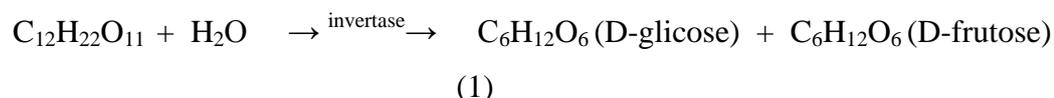


**Figura 2.** Esquema da produção de açúcar e etanol.

Fonte: Adaptado de BNDES et al., (2008)

O processo de fermentação geralmente utilizado nas destilarias do Brasil é o de *Melle-Boinot*<sup>1</sup>, cuja característica principal é a recuperação da levedura através da centrifugação do vinho (mosto fermentado). Esta levedura recuperada, antes de retornar ao processo fermentativo, recebe um tratamento severo, que consiste em diluição com água e adição de ácido sulfúrico até, normalmente, pH 2,5 ou mais baixo, no caso de haver infecção bacteriana. Esta suspensão de fermento diluído e acidificado, conhecido na prática como “pé-de-cuba”, permanece em agitação durante cerca de 1 hora e 30 minutos, antes de retornar à fermentação, para outra batelada (Oliveira, 2010).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é mesófila (temperatura ótima entre 26 e 35°C) e tem melhor atividade em pH entre 4 e 5 durante a fermentação (AMARAL, 2009). Este microrganismo realiza a fermentação do açúcar com o objetivo de adquirir energia química necessária à sua sobrevivência, liberando o etanol, que é formado pelas leveduras a partir de monossacarídeos, sendo necessário decompor a sacarose, (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>), em D-glicose e D-frutose. Na fermentação alcoólica estes microrganismos fornecem a enzima invertase que hidrolisa a sacarose, dada pela Reação (1) (Souza, 2009):



Dois ciclos distintos definem o processo de transformação de açúcares solúveis em moléculas menores pela ação da levedura. O primeiro é a glicólise (ocorre na mitocôndria) que possui a função de desdobrar a molécula de glicose até ácido pirúvico, através de uma série de reações catalisadas por enzimas específicas, que se situam na parede celular e no interior da célula. Na ausência de oxigênio há uma tendência à atuação das enzimas piruvato descarboxilase e álcool-desidrogenase, produzindo etanol e água a partir de ácido pirúvico (ocorre no citoplasma). Porém, na presença de oxigênio há um deslocamento de parte do ácido pirúvico para o Ciclo de Krebs, onde este será oxidado enzimaticamente a dióxido de carbono e água (Souza, 2009).

O rendimento teórico (Y<sub>P/S</sub>) para a produção de etanol é de 0,511 gramas de etanol/grama de Açúcares Redutores Totais (ART) consumidos (Daré, 2008). Na prática, este valor não é observado devido à utilização de parte da glicose para a produção de glicerol e

---

<sup>1</sup> *Melle-Boinot* – processo desenvolvido na década de 30 pelo engenheiro *Boinot* nas usinas de *Melle*, França, caracterizado pela recuperação do fermento por meio de centrifugação do vinho bruto (Magalhães, 2007).

álcoois superiores, substâncias necessárias para síntese de material celular e manutenção da levedura (Oliveira, 2010).

Assim, de acordo com Batista, (2005), frente a um número elevado de reações catalisadas enzimaticamente no metabolismo celular, diversos fatores físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais, orgânicos, inibidores) e microbiológicos (espécie, linhagem, concentração da levedura, contaminação bacteriana), afetam o rendimento da fermentação, ou seja, a eficiência da conversão de açúcar em etanol.

Geralmente as quedas na eficiência fermentativa decorrem de uma alteração na estequiometria do processo, levando à maior formação de produtos secundários (especialmente glicerol e ácidos orgânicos) e biomassa (Lima et al., 2001). Com as reações secundárias, o rendimento teórico da fermentação, conhecido como rendimento Pasteur, cai para um máximo de 95% sobre 0,511 g/g de ART (Batista, 2005).

Quando os nutrientes são deficientes, as leveduras entram em processo de meiose para formarem esporos haplóides, os quais germinam quando as condições tornam-se mais favoráveis (Batista, 2005).

Na Tabela 1 são apresentadas as concentrações dos principais nutrientes minerais, que proporcionam à levedura a melhor condição fisiológica para alcançar os maiores índices de conversão de açúcares em etanol.

**Tabela 1.** Concentrações ideais de nutrientes minerais no mosto

<b>NUTRIENTE MINERAL</b>	<b>mg/L</b>	<b>NUTRIENTE MINERAL</b>	<b>mg/L</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	50 a 150	Co <sup>2+</sup>	3,5 a 10
P	62 a 560	Zn <sup>2+</sup>	0,5 a 10
K <sup>+</sup>	700 a 800	Cu <sup>2+</sup>	7
Ca <sup>2+</sup>	120	Mn <sup>2+</sup>	10 a 80
Mg <sup>2+</sup>	70 a 200	Fe <sup>2+</sup>	0,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7 a 280		
Na <sup>+</sup>	200		

Fonte: Adaptada de Lima et. al., (2001)

Há várias maneiras de se conduzir a fermentação. O reator biológico pode ser operado de forma descontínua, semicontínua, descontínua alimentada (ou batelada alimentada) ou contínua, todos podendo trabalhar com ou sem recirculação do fermento. Na

produção industrial de etanol em grande escala, os processos fermentativos se classificam em processos em batelada e contínuos, sendo que a denominação batelada na prática industrial da produção de etanol se refere à batelada alimentada (Pacheco, 2010).

Em termos industriais, os biorreatores, também denominados dornas, são reatores de aço do tipo tanque agitados, normalmente fechados e mantidos a uma temperatura entre 28 e 35°C até o final do processo, quando a concentração de etanol se situa entre 7° e 10° GL. Nas dornas fechadas é usual a presença de um sistema de lavagem do gás de saída para recuperação do etanol evaporado (as perdas por evaporação correspondem a 1,5% de todo o etanol gerado). No início da fermentação é utilizada uma concentração celular de  $10^6$  a  $10^7$  células/mL de mosto, e ao final da fermentação a concentração celular atinge valores de 10 a 100 vezes maior que o inicial (concentração final de  $10^8$  células/mL de vinho bruto) (Pacheco, 2010).

A presença de microrganismos no processamento da cana-de-açúcar ocorre desde a lavoura até o setor de fermentação, pois tanto o caldo como o mosto são ótimos substratos para seu desenvolvimento e proliferação, devido aos teores de nutrientes orgânicos e inorgânicos, alta atividade de água, pH, além da temperatura, que ocorrem nos processos industriais de fermentação. Os maiores prejuízos causados pela contaminação bacteriana são a degradação da sacarose e a formação dos ácidos lático e acético que ocasionam perda de açúcar e intoxicação das leveduras (Cherubin, 2003).

Conforme Cherubin, (2003) outro problema causado pela presença de bactérias contaminantes é a floculação, que ocasiona redução na velocidade de fermentação, além de inconvenientes como entupimento de tubulações, aumento de fundo de dorna e dificuldades de operação das centrífugas devido ao entupimento dos bicos. Na tentativa de controle dos contaminantes da fermentação alcoólica, diversas práticas envolvendo a utilização de agentes antimicrobianos são utilizadas, sendo que a aplicação de ácido sulfúrico no preparo do pé-de-cuba é a prática mais utilizada, possibilitando reduções de até 45% na população de bactérias contaminantes.

Após o término da fermentação (em média 12 horas), todo o conteúdo da dorna é transferido para as centrífugas. O caldo de leveduras que sai da centrifugação é depositado em cubas, onde é diluído em água e passa pelo tratamento ácido, para posteriormente retornar para as dornas, onde será adicionada uma nova carga de mosto para um novo ciclo fermentativo. Cerca de 90% das leveduras são reaproveitadas de uma fermentação para outra e esse processo de reciclo permanece durante todo o período da safra, se repetindo de 2 a 3 vezes por dia (Missawa, 2009).

O vinho, resultante da fermentação, possui de 7° a 10° GL de álcool e é composto por elementos de natureza líquida, sólida e gasosa. Além do álcool, os elementos líquidos são: água (de 89% a 93%), glicerol, álcoois homólogos superiores (amílico, isoamílico, propílico, isopropílico, butílico, isobutílico), furfural, aldeído acético, ácidos succínico e acético dentre outros. Os elementos sólidos são formados por bagacilhos, leveduras e bactérias, açúcares não-fermentescíveis, sais minerais, matérias albuminóides e outros, e os gasosos, principalmente pelo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) (Oliveira, 2010).

De acordo com Missawa, (2009) após a centrifugação, o vinho (fermentado de cana sem as leveduras) é enviado para a dorna volante, de onde segue para as colunas de destilação para separação do etanol e da vinhaça.

### Conclusão

As várias etapas que antecedem a fermentação alcoólica necessitam estar em conformidade com os padrões de qualidade e devem ser realizadas sem interrupções, para evitar que o caldo fique exposto a condições de proliferação bacteriana e contaminações que venham a influenciar o processo realizado pelas leveduras. O preparo do caldo tem influência direta no rendimento final, e a produção de etanol será tanto maior quanto mais bem preparado for o caldo e o mosto.

### Referências

ALCARDE, A.R. **Extração**. 2007. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_103\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_103_22122006154841.html)>. Acesso em: 10 set. 2013.

BATISTA, M. A. **Estudo da imobilização de células de *Saccharomyces cerevisiae* em gel de alginato de cálcio no processo de fermentação alcoólica**. 2005. Dissertação. Mestrado. Disponível em: <[http://www.bdt.d.ufu.br//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=670](http://www.bdt.d.ufu.br//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=670)>. Acesso em: 11 set. 2013.

BNDES, CGEE, FAO, CEPAL. **Bioetanol de cana-de-açúcar. Energia para o desenvolvimento sustentável**. 2008. Disponível em: <[http://www.bioetanoldcana.org/pt/download/resumo\\_executivo.pdf](http://www.bioetanoldcana.org/pt/download/resumo_executivo.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2013.

CHERUBIN, R. A. **Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica**. 2003. Tese. Doutorado. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-10092003-144216/pt-br.php>>. Acesso em: 11 set. 2013.

DARÉ, R. M. **Avaliação de coeficientes de rendimento e modelagem do processo fermentativo de produção de etanol.** 2008. Dissertação. Mestrado. Disponível em: <[http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2311](http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2311)>. Acesso em: 10 set. 2013.

LIMA, A.C.; FERRARESI, V.A. **Desgaste em equipamentos de processamento da cana-de-açúcar em destilaria de álcool.** 2006. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/PM16-0092\\_000fxg23qv402wyiv80soht9hrcsev2d.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/PM16-0092_000fxg23qv402wyiv80soht9hrcsev2d.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2013.

LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia industrial.** 1ª ed.; vol. 3; São Paulo: Blucher, 2001.

MAGALHÃES, A. C. M. **Fermentação alcoólica.** 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAApoUAG/unidade-vii-fermentacao-alcoolica-parte-ii>>. Acesso em: 10 set. 2013.

MISSAWA, S. K. **Modificação de linhagens industriais de *Saccharomyces cerevisiae* para o aumento da produtividade de álcool e floculação condicional.** 2009. Tese. Doutorado. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000466267>>. Acesso em: 11 set. 2013.

OLIVEIRA, W. A. **Modelos estatísticos integrados à metodologia Lean Seis Sigma visando ao aumento da produtividade na obtenção do etanol.** 2010. Tese. Doutorado. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11134/tde-20092010-092946/en.php>>. Acesso em: 10 set. 2013.

PACHECO, T.F. **Fermentação alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente.** Dissertação. 2010. Disponível em: <[http://www.btdt.ufu.br/tde\\_arquivos/12/TDE-2010-04-12T170946Z-1890/Publico/thalita.pdf](http://www.btdt.ufu.br/tde_arquivos/12/TDE-2010-04-12T170946Z-1890/Publico/thalita.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2013.

SANTOS, A.M. **Estudo da influência da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada.** 2008. Disponível em: <[http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgeq/dissertacao\\_alessandra.pdf](http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgeq/dissertacao_alessandra.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2013.

SOUZA, C.S. **Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de *S. cerevisiae*.** 2009. 155 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia). Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/87/87131/tde-05082009-171501/pt-br.php>>. Acesso em: 08 set. 2013.

---

**Recebido para publicação em: 17/10/2013**

**Aceito para publicação em: 27/02/2014**