

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

JÉSSICA CAROLINA BATALHA

**AVALIAÇÃO DA FERMENTAÇÃO AUTÔNOMA E
CONVENCIONAL EM USINA DO MUNICÍPIO DE
IACANGA (SP)**

BAURU
2016

JÉSSICA CAROLINA BATALHA

**AVALIAÇÃO DA FERMENTAÇÃO AUTÔNOMA E
CONVENCIONAL EM USINA DO MUNICÍPIO DE
IACANGA (SP)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Ciências
da Saúde como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel
em Ciências Biológicas, sob
orientação da Profa. Dra. Maricê
Thereza Corrêa Domingues Heubel.

BAURU
2016

Batalha, Jéssica Carolina

B3282a

Avaliação da fermentação autônoma e convencional em usina do município de Jacanga (SP) / Jéssica Carolina Batalha. -- 2016.

44 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Maricê Thereza C. D. Heubel.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. *Sacharomyce cerevisiae*. 2. Destilaria. 3. Linhagem de leveduras. 4. Melaço. I. Heubel, Maricê Thereza Corrêa Domingues. II. Título

JÉSSICA CAROLINA BATALHA

**AVALIAÇÃO DA FERMENTAÇÃO AUTÔNOMA E
CONVENCIONAL EM USINA DO MUNICÍPIO DE
IACANGA (SP)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências da Saúde da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, sob orientação da Dra. Maricê Thereza Corrêa Domingues Heubel.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Maricê Thereza Corrêa Domingues Heubel
Universidade do Sagrado Coração

Profa. Dra. Carla Gheler Costa
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 23 de Junho de 2016.

Dedico este trabalho a Deus.

AGRADECIMENTO

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

Agradeço a minha professora orientadora que teve paciência e que me ajudou a concluir este trabalho.

E à Empresa que concedeu os dados para desenvolver o trabalho.

Agradeço a esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a realização deste curso.

RESUMO

O processo de produção de etanol combustível no Brasil utiliza a sacarose na forma de caldo ou melaço como substrato para *Sacharomyces cerevisiae*, o que representa um alto rendimento fermentativo para as linhagens selecionadas em relação ao comportamento perante o desempenho do processo fermentativo, antes destilaria autônoma por produzir etanol diretamente da cana de açúcar e atualmente, anexa após a introdução da fábrica de açúcar, ou seja, passou a se produzir o mel. Este mel é um produto resultante da massa cozida, da qual os cristais de sacarose são separados por centrifugação, transformado posteriormente em mel final, conhecido também como melaço proveniente do esgotamento da fábrica de açúcar. A Usina do presente estudo (de açúcar e álcool) utiliza as linhagens de leveduras selecionadas em seu processo de fermentação alcoólica. Este o fermento é submetido a um tratamento por ácido sulfúrico antes de iniciar um novo ciclo fermentativo, o que pode ser chamado de reciclo de fermento. No caso da usina o tipo de fermentação é de batelada, ou seja, o fermento é dividido em oito pés de cuba sendo tratado individualmente o que favorece um melhor tratamento. O melaço é reaproveitado como subproduto utilizado como substrato para a produção de etanol, pois apresenta uma grande quantidade de açúcares fermentescíveis em sua composição, constituindo uma boa fonte de carbono. Em sua composição se encontram presentes nitrogênio, fosfatos, cálcio, magnésio, zinco, manganês, cobre e ferro como nutrientes específicos e importantes para o desenvolvimento celular das leveduras. O presente trabalho teve como objetivo comparar as fermentações autônoma e anexa na usina sucroalcooleira do município de Iacanga (SP). Foi realizada uma pesquisa documental nos relatórios de produção da usina dos anos safra de 10/11 11/12 12/13 13/14 14/15 e 15/16, com a finalidade de verificar os resultados dos processos, os quais se mostraram muito vantajosos em relação aos parâmetros fermentativos após a utilização do melaço, assim como a diminuição dos gastos com os insumos industriais (nutrientes industrializados).

Palavras chaves – *Sacharomyces cerevisiae*, destilaria, linhagem de leveduras, melaço.

ABSTRACT

The fuel ethanol production process in Brazil uses sucrose as juice or molasses as a substrate for *Saccharomyces cerevisiae*, representing a high fermentation yield for the strains selected in relation to the behavior before the performance of the fermentation process before autonomous distillery by produce ethanol directly from sugarcane and currently attached after the introduction of sugar factory, that is, began to produce honey. This honey is a product of cooked pasta, in which the sucrose crystals are separated by centrifugation, subsequently transformed into the final honey, also known as molasses from the sugar depletion of the plant. The plant of the present study (sugar and alcohol) use the strains of selected yeasts in its fermentation process. The leaven is subjected to a treatment with sulfuric acid before initiating a new fermentation cycle, which can be called yeast recycle. In the case of plant type fermentation is batch, or baking is divided into eight feet vessel being treated individually which favors a better treatment. Molasses is reused as by-product used as a substrate for ethanol production because it has a large amount of fermentable sugars in the composition, providing a good source of carbon. In its composition are present nitrogen, phosphate, calcium, magnesium, zinc, manganese, copper and iron as specific and important nutrients for cell growth of yeasts. This study aimed to compare the autonomous and attached fermentations in sugarcane mill in the municipality of Iacanga (SP). documentary research was carried out in the plant's production reports of crop years 10/11 11/12 12/13 13/14 14/15 and 15/16, in order to verify the results of the processes, which were very advantageous over the fermentative parameters after use of molasses, as well as the decrease in spending on industrial inputs (industrialized nutrients).

Key words - *Saccharomyces cerevisiae*, distillery strain of yeast, molasses.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 ESCASSEZ DO PETRÓLEO	10
1.2 PRODUÇÃO DE ETANOL – UMA VISÃO GERAL E ATUAL	12
1.2.1 Fermentação.....	14
1.2.2 Usina Ipiranga Agroindustrial S/A – Iacanga(SP)	17
1.2.3 Processo de Fermentação na Usina Ipiranga – Iacanga (SP)	17
1.2.4 Leveduras.....	20
2 OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVO GERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3 MATERIAL E MÉTODO	25
3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	25
3.2 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS	37
APÊNDICE.....	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO DA CULTURA DA CANA DE AÇÚCAR NO BRASIL E A ORIGEM DO ETANOL

A cana de açúcar foi inserida no Brasil pelas mãos de Martim Afonso de Sá trazida pela Capitania de São Vicente em São Paulo e no princípio a cultura se expandiu na região nordeste. A produção de cana cultivada no país era enviada para a Europa (BRANDÃO, 1984).

Nos séculos XVI ao XVII a cultura de cana de açúcar era predominante as demais atividades econômicas exercidas no país. Com o passar do tempo a indústria se modernizou e no século XIX houve aumento significativo por parte dos fornecedores e das unidades produtoras (EINSEBERG, 1997).

A produção de cana de açúcar no Nordeste sobreviveu por mais três séculos tentando resgatar seu lugar no mercado externo (FURTADO, 2007). O cultivo no país sofreu grandes impactos quando a plantação de açúcar chegou ao Caribe e América Central, assim resultando na decadência da produção no país, contudo o abalo na cultura de cana de açúcar não suprimiu totalmente o seu cultivo no Brasil. Nas décadas de 30 a 80 a cultura de cana de açúcar sofreu outra redução drástica, a partir do momento em que os franceses descobriram a técnica para a produção de açúcar a partir da beterraba, na época as exportações que chegaram até 24%, passaram a ser 10% (MICHEL JÚNIOR, 2010).

Diante do cenário de recessão gigantesca novas utilidades e tecnologias deveriam ser atribuídas á cultura cana de açúcar no país. A elaboração do combustível proveniente da cana açúcar foi um dos acontecimentos mais surpreendente que o homem desenvolveu no âmbito de energia renovável (FURTADO, 2007).

Os primeiros testes com etanol combustível se deram na década de 1920, na época o mercado do açúcar perdia cada vez mais espaço no mercado externo, várias formulações de álcool foram vendido como combustível. A exemplo destes testes tem a USGA (75% etanol e 25% éter), em sequência Rosada, Motogas, Nacionalina, Azulina e Motorina Lacerda (ANCIÕES, 1980).

Em 1931 por meio do Decreto nº 19.717, ficou determinado a inclusão de álcool à gasolina importada, na porção inicial de 5%. Este critério passou a ser adotado com o intuito de ajudar o setor açucareiro que passava por várias dificuldades devidas à crise do açúcar, o resultado disto foi a criação por parte do governo de Getúlio Vargas o Instituto do Açúcar e Álcool – IAA e pela Lei nº 737 imposta a adição do etanol à gasolina (ANCIÕES, 1980).

A partir disto, em 1975, surge o PROÁLCOOL (Programa Nacional do Álcool) estimulando o aumento da produção do álcool combustível (etanol) com o intuito de substituir o uso da gasolina. O investimento em pesquisas levou a descoberta que 20% do álcool anidro era excelente sua utilização aos motores existentes da época, de posse desta notícia o governo do então presidente Geisel em 1975 passou a comercializar a chamada “gasolina rosada,” logo tudo estava preparado para o avanço dos projetos de pesquisa do PROÁLCOOL, na ocasião em que foi criado o decreto e foi colocado em papel (BRANDÃO, 1984).

As fábricas de automóveis juntamente com o governo federal assumiram juntos, e assim, assinaram um protocolo viabilizando e assegurando o compromisso das fábricas em produzir e disponibilizar carros movidos a etanol. A princípio, cerca de 250.000 em 1981 exemplares e 300.000 em 1982, somando um total de 900.000 automóveis movidos à etanol, nesse mesmo momento o PROÁLCOOL alcançou em torno de 228 propostas para a montagem de destilarias (BRANDÃO, 1984).

1.2 ESCASSEZ DO PETRÓLEO

Em 1973 divergências entre os países Israel, Egito e Síria acarretaram sérios problemas no mercado internacional do petróleo, ocasionando a ascensão nos valores do barril de petróleo, chegando a quadruplicar o preço do produto, desencadeando uma crise que na época ficou famosa como o primeiro choque do petróleo, levando a população mundial à evidenciação da probabilidade de término de reservas, agravando ainda mais a crise mundial (PENIDO, 1949).

A elevação dos preços no barril de petróleo e a diminuição na oferta do produto na década de 1970 acarretaram graves sequelas em decorrência da

OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) constituída basicamente pelos produtores de petróleo do Oriente Médio, promovendo assim a elevação da inflação e levando ao desemprego dos países subordinados, o qual o Brasil fazia parte, a produção nacional retardou consideravelmente (MENEZES, 1980).

Após o mundo evidenciar o episódio da crise do petróleo ficou claro que não poderíamos mais depender exclusivamente do combustível fóssil, não renovável, na qual, sua extração um dia chegará ao fim, portanto a humanidade foi forçada a buscar fontes alternativas, com base em pesquisas, a indústria automobilística e o governo presumiram que o álcool era a fonte energética mais provável e econômica em curto espaço de tempo. Neste contexto o país é singular aos demais no quesito de solucionar seus problemas com relação ao combustível fazendo uso de vegetais, por possuir condições favoráveis ao seu desenvolvimento e crescimento (ociosidade de solos, água, luminosidade solar, mão de obra, etc.) Desta maneira abriu-se os olhos por parte dos nossos governantes da potencialidade gigantesca do país em se produzir combustível renovável a partir da cana de açúcar, isto os levou a elaborar incentivos aos produtores de cana de açúcar levando-os a produzir etanol (PENIDO, 1984).

No início do PROÁLCOOL foi enfatizada a produção de etanol anidro para ser incorporado a gasolina, já na segunda fase do programa buscou se o etanol hidratado usado de maneira puro nos motores adaptados para o uso do combustível (LEME, 2004).

Nos anos que se seguiam entre 1983 a 1988, cerca de 90% dos carros comercializados no país eram movidos a etanol, contudo na década de 80 os preços de petróleo baixaram e com isto a produção de etanol entrou em declínio. No final da década de 90, apenas 1% dos carros comercializados possuíam motores movidos a etanol (ANP, 2010).

1.3 PRODUÇÃO DE ETANOL – UMA VISÃO GERAL E ATUAL

O destaque na economia da indústria sucroalcooleira no Brasil esta inteiramente ligada a indústria açucareira, devido que o álcool produzido é na realidade um subproduto desta indústria (LIMA et al., 1975).

Ambas as indústrias, desde o descobrimento do país, expandiram juntas e são pioneiras na indústria manufatureira constituídas no país e localizam se em todos os estados (LIMA et al., 1975). Entretanto, a produção de etanol resulta de duas grandes regiões, a Centro-Sul e a Norte-Nordeste, contudo os demais estados concernentes a estas duas regiões tenham condições de produzir etanol, a produção está aglomerada na região Centro-Sul de acordo com a Figura 1, mais especificamente no estado de São Paulo (NOVA CANA, 2007).

FIGURA 1 – Localização das usinas de açúcar e álcool e bioetanol no Brasil



Fonte: CTC – NIPE (2005)

A produção de etanol no Brasil a partir de matéria prima cana de açúcar, data da época que se produzia aguardente com os resíduos que sobravam da fabricação de açúcar, sendo à base dessa produção o melaço (resíduo da fabricação açucareira), e no século XIX foi marcado pela alta produtividade de etanol. O Brasil, país com altos índices de produtividade de cana de açúcar está juntamente com os Estados Unidos entre os países que mais produzem etanol, ambos participam com 70% da produção na esfera mundial (MAPA, 2007).

O Brasil quando comparado com a média mundial de 13%, sobressai do restante do mundo por uma razão simples e óbvia o mesmo possui pouco mais de 45% da sua matriz renovável, isto é resultante das matérias-primas cana de açúcar e melaço subproduto da fabricação de açúcar (MAGALHÃES, 2007).

De acordo com o Ministério da Agricultura (2016), o Brasil é responsável por maior parte do açúcar comercializado no mundo, e até 2018/19 o país deverá atingir um acréscimo da média produtiva de 3,25% e colher 47,34 milhões de toneladas do produto, isto se refere a um aumento de 14,6 milhões de toneladas em relação ao período 2007/2008. O volume das exportações projetado em 2019 é de 32,6 milhões de toneladas. As projeções para o etanol também são bastante otimistas aos próximos anos, fato que se deu essencialmente pelo aumento no crescimento do consumo interno (MAPA, 2016).

Em 2019 estima-se uma produção de 58,8 bilhões de litros, mais que o dobro da registrada em 2008. O consumo interno está projetado em torno de 50 bilhões de litros e as exportações em 8,8 bilhões (MAPA, 2016).

Desta forma a ascendência das usinas compostas conduz o favorecimento devido as suas aplicações na produção do etanol, tornando possível o uso do subproduto da fabricação do açúcar, ou seja, a utilização do melaço, produto do qual não se extrai mais açúcar, mas que pode ser utilizado como fonte de alimento para as leveduras no processo fermentativo, sendo possível dar prioridade a fabricação do produto, que se tenha melhor preço de mercado durante o ano Safra, ocorrendo à alternância da porcentagem no Mix de produção (MAPA, 2008; CONAB, 2008).

1.3.1 Fermentação

No processo fermentativo as leveduras são introduzidas nas dornas de fermentação para a produção de etanol sistemática que depende essencialmente da capacidade das mesmas em converter o açúcar proveniente de misturas açucaradas, mosto de caldo de cana ou mosto incorporado com o melaço (SILVA, 1994). As espécies *Saccharomyces cerevisiae* são amplamente empregadas para o processo fermentativo das destilarias autônomas e compostas (VASCONCELOS, 1983).

A fermentação é um processo bioquímico no qual açúcares como frutose, sacarose e glicose são convertidos em energia celular, palavra originada do latim *factum ere* = fazer ferver, processo conhecido pelo homem desde os tempos mais remotos (JACQUEMIN, 1900).

O processo fermentativo inicia quando as leveduras presentes no meio consomem os açúcares existentes do substrato mosto soluções açucaradas para o seu crescimento e multiplicação celular. Os produtos resultantes deste consumo são o álcool e o anidrido carbônico, e à medida que ainda existir oxigênio dentro das dornas de fermentação as leveduras irão se desenvolver e multiplicar, após consumir todo este oxigênio presente no meio, passam a produzir etanol e CO₂(AQUARONE et al.,1983).

O desenvolvimento celular das leveduras e a sua produção de etanol são pertinentes ao meio em que estão expostas, ou seja, necessitam de nutrientes necessários para a sua sobrevivência e conseqüentemente atingir alto rendimento fermentativo. Isto depende da qualidade da matéria prima, a cana de açúcar que esta sujeita às variações de variedade, condições climáticas, estágio de maturação, adubação do solo, altura do desponete, ferti-irrigação com vinhaça, sanidade, deterioração, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, idade, entre outros parâmetros. A cana de açúcar tem cerca de 75% de água, 25% de matéria orgânica e 0,5% de material mineral em sua composição. No caldo de cana propriamente dito temos 82% de água, 18% de sólidos solúveis (°Brix) ~ 0,4% glicose ~ 0,2% frutose e ~ 14% sacarose (VASCONCELOS, 1983). A Tabela 1 relata os valores da composição média do caldo de cana de açúcar, de acordo com Araújo (1982).

Tabela 1 – Valores da Composição de cana de açúcar em porcentagem

Componente	Valor Percentual
Brix	19,5
Água	81,0
Sacarose	16,0
Glicose	0,3
Frutose	0,1
Açúcares totais	18,0
Subs. Redutoras infermentecíveis	0,0
Matéria Nitrogenada	0,0
Acidez Sulfúrica	0,5
pH	5,5
Cinzas	0,4
P ₂ O ₅	0,0
K ₂ O	0,2
CaO	0,0
MgO	0,0
SiO ₂	0,0
Vitaminas	Váriável

Fonte: Araújo (1982)

O melaço é um subproduto da fabricação do açúcar líquido de densidade elevada, viscosidade acentuada e cor escura. Abundante em açúcares, compostos de baixo percentual de água, suas prioridades estão sujeitas a variedade, idade, estágio de maturação, sistema de cultivo, adubação e tratamentos culturais da cana de açúcar. As variações na densidade do mel variam em torno de 1,4 a 1,5 g/ml, e a produtividade em etanol é de 280 a 320 litros/tonelada, sendo produzido na proporção de 40 Kg/t de cana.

Para o reaproveitamento do melaço é necessário que se faça a diluição de maneira constante em soluções adequadas a fim de garantir valores corretos de °Brix de acordo com cada processo fermentativo (LIMA et al., 2001).

A Tabela 2 relata os valores da composição dos melaços de açúcar cristal.

Tabela 2 – Valores da composição dos melaços de açúcar cristal.

Determinação	Açúcar
C (%)	23,66 ^a ± 1,2 ^b
CaO (%)	1,36 ± 0,12
MgO (%)	1,03 ± 0,10
N (%)	0,49 ± 0,02
K ₂ O (%)	3,51 ± 0,21
P ₂ O ₅ (%)	0,07 ± 0,01
Cu (ppm)	16,85 ± 7,7
Zn (ppm)	19,45 ± 4,01
Fe (ppm)	225,16 ± 55,74
Mn (ppm)	19,61 ± 3,53
Brix (%)	78,61 ± 0,81
Pol (%)	36,58 ± 1,13
AR (%)	16,20 ± 0,49
ART (%)	54,73 ± 1,14
Pureza (%)	46,54 ± 1,29

^aMédia; ^bDesvio – padrão da média

Fonte: Vasconcelos (1983)

1.3.2 Usina Ipiranga Agroindustrial S/A – Iacanga (SP)

A Usina Ipiranga Agroindustrial faz parte do grupo Copersucar sua produção é destinada e comercializada pela cooperativa. O grupo Ipiranga possui mais duas unidades, situadas em Mococa e Descalvado, teve seu primeiro ano Safra no Município de Iacanga em 2007 e ao longo dos anos passou por várias obras de expansão. Atualmente conta com estação de Cogeração de energia elétrica a partir do bagaço de cana excedente.

Até o ano Safra 12/13 a Usina Ipiranga correspondia sua produção à destilaria autônoma, produzindo somente etanol Hidratado, passando para destilaria composta na Safra 13/14, após a implantação da fábrica de açúcar, assim reaproveitando o subproduto da fabricação do açúcar em seu processo fermentativo desde a Safra 13/14 passou a produzir açúcar VVHP (Açúcar Bruto) e dois tipos de etanol: álcool etílico anidro (AEAC); e álcool etílico hidratado carburante (AEHC).

O açúcar VVHP (Açúcar Bruto) produzido por clarificação do caldo de cana de açúcar sem o uso do enxofre e com especificação de cor mais intensa (cor ICUMSA até 450) tem toda a produção destinada à exportação.

O etanol anidro é isento de água com teor alcoólico mínimo de 99,3° INPM o mesmo é introduzido como aditivo na gasolina e o processo de octanagem numa proporção de 20 a 25%.

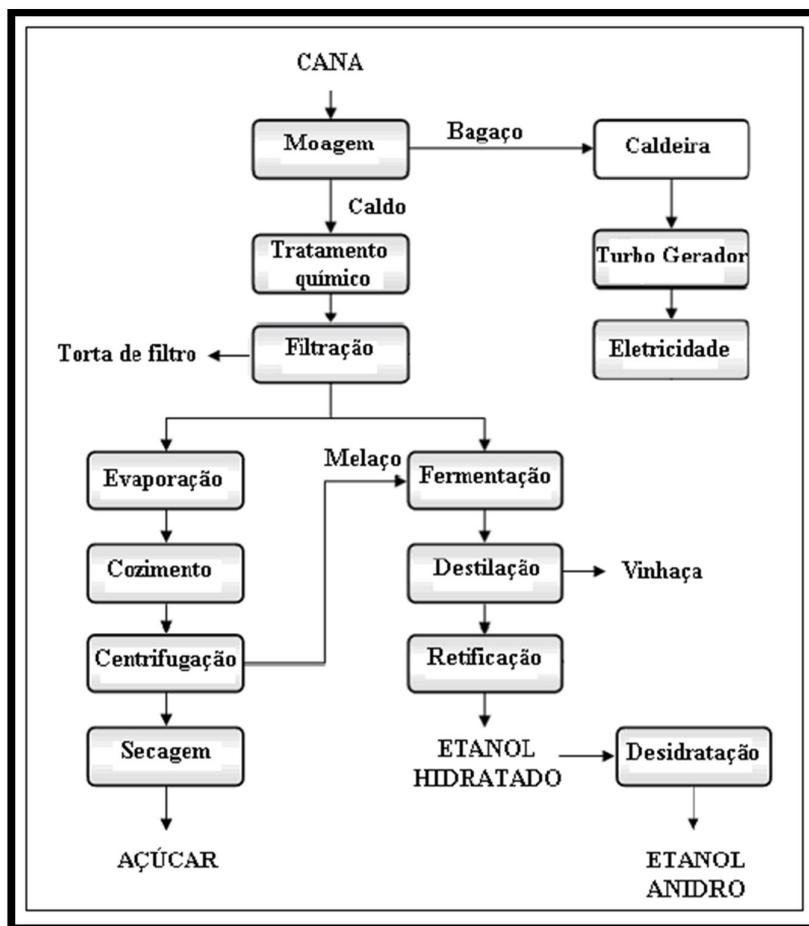
O etanol hidratado é uma mistura hidro alcoólica composta de 92,5° INPM de álcool etílico e 5% de água, seu uso é direto como combustível em motores biocombustíveis (veículos flexfuel).

1.3.3 Processo de Fermentação na Usina Ipiranga – Iacanga (SP)

Há mais de 4.000 anos os antigos egípcios produziam pães e bebidas a partir do uso de frutas e cereais, entretanto apenas pouco tempo é que se pode correlacionar as leveduras e fungos existentes na natureza com o processo fermentativo, estes microorganismos possuem competências para permanência em condições aeróbias e anaeróbias (LIMA et al., 2001).

A fermentação alcoólica para a produção de etanol etílico na indústria sucroalcooleira segue a seguinte sequência: a cana é desfibrada e então moída e o caldo clarificado, junto com o mel final (resíduo da fabricação do açúcar), que posteriormente será incorporado ao mosto (BORZANI; LIMA; AQUARONE, 1975).

FIGURA 2 – Fluxograma da fabricação de açúcar e etanol.



Fonte: Adaptado de Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico BNDS e et al. (2008).

A fermentação é um processo em que as leveduras oxidam parcialmente o substrato e neste processo biológico feito por estes microorganismos, sendo o gênero *Saccharomyces cerevisiae* mais usado para a obtenção do etanol por via fermentativa (SANTOS, 2008).

A forma de condução da fermentação na Usina Ipiranga é feita por meio do processo de batelada alimentado, enche-se as dornas individualmente acrescentando o fermento durante a alimentação com o mosto e no decorrer do período fermentativo são feitas análises horárias de Brix e temperatura.

O processo de fermentação baseia-se no reciclo do fermento, ou seja, reaproveitamento das leveduras resultantes de uma fermentação anterior, que são separadas por meio de centrifugação.

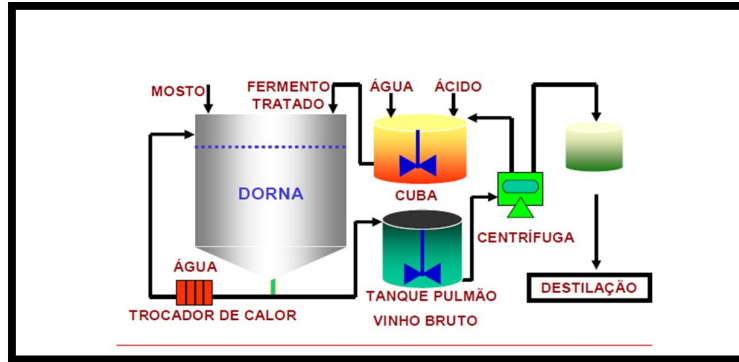
O vinho de levedura dos é enviado às colunas de destilação e o creme de leveduras ou leite de leveduras para as cubas de tratamento, e então é diluído com água tratadas e ácido sulfúrico, mantendo o pH em torno de 2,5. Ocasionalmente pode ocorrer a dosagem de antibióticos para o controle da infecção bacteriana.

O fermento diluído e acidificado é então chamado de pé de cuba, fica em agitação constante por cerca de uma hora e trinta minutos antes de voltar à próxima batelada (OLIVEIRA, 2010).

No processo de fermentação por batelada alimentada temos as seguintes vantagens:

- Fermentação mais límpida ocasionada pelo tratamento de leite de levedura (tratamento ácido) (ALMEIDA, 1960 apud TOSETO, 2002).
- Aumento do rendimento em etanol, devido á economia de açúcar, em decorrência de menor reprodução de biomassa.
- Eliminação de bactérias pelo desmembramento das células por centrifugação do vinha bruto.

FIGURA 3 – Processo de Fermentação Batelada Alimentada.



Fonte: Luiz et al. (2006).

1.3.4 Leveduras

As leveduras são microorganismos empregados na produção de etanol constituem uma das classes mais importantes dos fungos. As *Saccharomyces cerevisiae* apresentam-se geralmente na forma unicelular de 2 a 8 micrômetros, sua reprodução se dá basicamente por brotamento (gemação), onde a célula mãe após certo período de tempo e união entre os citoplasmas origina uma nova célula (STCKELBERG, 2001).

Estas leveduras possuem melhor desempenho para a produção de etanol e são utilizadas abundantemente pela indústria sucroalcooleira por possuírem qualidades que consagram estes microorganismos, como o mais adequado para o setor, os quais são eles: rápida capacidade em transformar açúcares em etanol, maior tolerância ao produto formado, flexibilidade as variações de temperaturas, atividades celulares em ambientes ácidos (ANDRIETA et al., 2006).

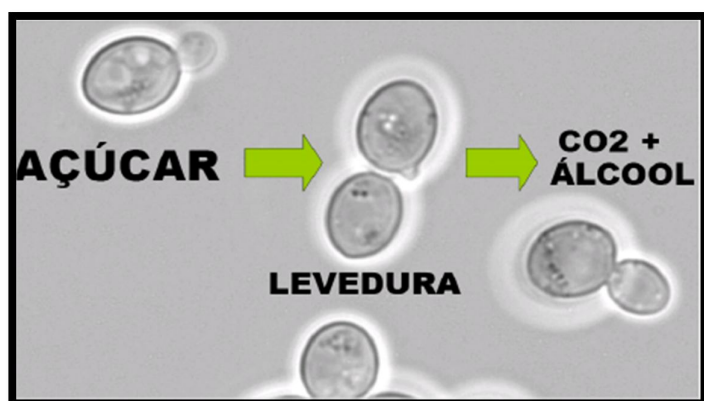
FIGURA 4 - Célula de *Saccharomyces cerevisiae* (reprodução por brotamento).



Fonte: Arquivo Pessoal.

As leveduras desenvolvem-se dentro das dornas em pH em torno de 4,0 a 4,5 no período de fermentação. São mesófilas, cuja temperatura ideal esta entre 26 a 35°C (AMARAL, 2006). O objetivo principal das leveduras é metabolizar o açúcar e gerar energia a fim de executar diversos trabalhos para a manutenção da sua sobrevivência como: absorção, excreção, pois a finalidade das leveduras é crescer e multiplicar-se. O etanol e o CO₂ são produtos resultantes da excreção sem utilidade metabólica, entretanto com o alto poder econômico que ocasionou a exploração da capacidade das leveduras em transformar açúcar em etanol, diante disto é possível modificar o meio de fermentação sem descuidar das necessidades básicas das leveduras (LIMA, 2001).

FIGURA 5 Esquema da fermentação alcoólica com reprodução de leveduras (microrganismo) consumo do substrato (açúcar) e produção do etanol e CO₂.

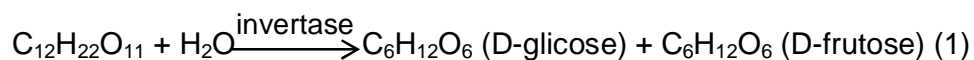


Fonte: Amorim (2007).

A fermentação ocorre no momento em que as leveduras são introduzidas no meio contendo fonte nutritiva (açúcares) e, posteriormente, consumirem estes nutrientes e os converterem em produto, conforme descrito na Figura 4. Ao término da fermentação alcoólica atinge-se uma proporção final de etanol variável em torno de 6 a 7% do volume (ICIDCA, 1999).

As concentrações de açúcares no mosto é o fator determinante para a elevação desta porcentagem de etanol. Atualmente, as usinas trabalham com níveis elevados na faixa de 8 a 12% do volume alcoólico, visando uma maior produtividade, assim como a diminuição do subproduto vinhaça, o qual é o grande desafio das indústrias sucroalcooleiras.

No decorrer da fermentação alcoólica as leveduras viabilizam a enzima invertase que hidrolisa a sacarose Figura 6 (SOUZA, 2009).



O rendimento teórico da fermentação alcoólica é de 0,511 gramas de etanol/grama de Açúcares Redutores Totais (ART) consumidos, contudo, na prática esta grandeza não é percebida, devido ao fato de parte da glicose ser empregada na formação de glicerol e álcoois superiores elementos essenciais para composição celular e preservação da levedura (FINGUERUT, 2007).

Outros fatores que dificultam, o alcance do rendimento fermentativo, ou seja, a perda na eficiência de conversão do açúcar em etanol é variada como, por exemplo, os físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais, inibidores) e microbiológicos (contaminação bacteriológica, espécie, linhagem, concentrações das leveduras) (BATISTA, 2005).

A deficiência em nutrientes é outra causa agravante para a perda em eficiência, uma vez que as leveduras entram em processo de meiose formando esporos haplóides, que germinam no momento em que o meio oferece condições favoráveis ao seu desenvolvimento e sobrevivência (BATISTA, 2005).

A Tabela 3 expõe os valores adequados dos principais nutrientes minerais que possibilitam melhores condições fisiológicas às leveduras, e aumentam seu desempenho fermentativo, ocasionando maiores índices de conversão de açúcares em etanol.

Tabela 3- Concentrações necessárias de nutrientes no mosto.

NUTRIENTE MINERAL	mg/l	NUTRIENTE MINERAL	mg/l
NH_4^+	50 a 150	CO_2^+	3,5 a 10
P	62 a 560	Zn_2^+	0,5 a 10
K^+	700 a 800	Cu_2^+	7
Ca_2^+	120	Mn_2^+	10 a 80
Mg_2^+	70 a 200	Fe_2^+	0,2
SO_4^{2-}	70 a 280		
Na^+	200		

Fonte: Adaptada de Lima et al.(2001)

Como estes nutrientes são importantes no desenvolvimento das leveduras utilizadas na indústria Sucroalcooleira, estudos que possam comparar a evolução dos resultados em safras com diferentes processos, colaboram com a melhoria do processo fermentativo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo comparou a fermentação alcoólica de uma Usina de Açúcar e Álcool do Município de Jacanga (SP), com base nos dados acumulados de safras anteriores, e seu atual processo de fermentativo que passou de destilaria autônoma para destilaria composta, após a instalação da fábrica de açúcar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever as etapas do processo fermentativo na usina;
- verificar a importância dos nutrientes existentes no melaço na produção etanol a partir de resultados das safras 10/11 a 15/16.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O processo é descrito a partir da revisão de literatura, consultando os responsáveis técnicos da empresa e por meio das análises do Laboratório Industrial e Microbiologia, dos quais foram analisadas cerca de aproximadamente 4.224 análises durante os períodos de safras, que estão disponíveis em tabelas e gráficos fundamentais de: viabilidade celular, teor alcoólico, concentração de levedo, ART% Mosto, °Brix determinação de sólidos solúveis, consumo específico de insumos, resultados analisados nas últimas seis safras, os quais estão disponíveis via sistema SIGIND e impressos na forma de Boletins Analíticos e Industrial para eventuais consultas na própria empresa.

3.2 MÉTODOS ANALÍTICOS

Todas as análises possuem um método específico relatado a seguir.

3.2.1 Determinação da viabilidade, brotamento e população de leveduras em amostra de vinho bruto e fermento

A viabilidade celular, brotamento e populações de leveduras foram feitas por meio da coloração com corante eritrozina, descrito conforme o Roteiro para Treinamento de Controle Microbiológico por Microscopia .

Esta metodologia baseia-se no princípio de que nas células mortas o rosa se apresenta intenso, por incapacidade de transformar o corante, as células vivas não apresentam coloração, caracterizada por transformar o corante eritrozina para forma incolor, utilizando a câmara de Neubauer, conforme as figuras 7 e 8:

Cálculo e Apresentação da Viabilidade Celular.

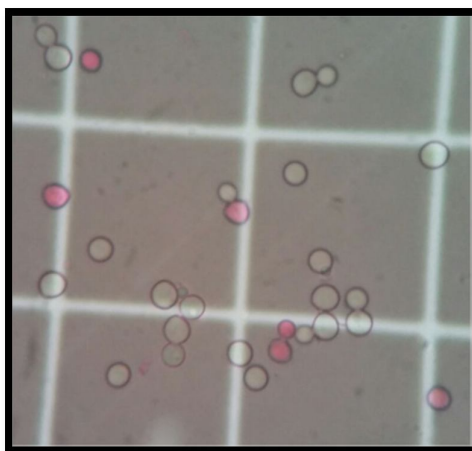
Viabilidade (%) = (número de células vivas) ÷ (número total de células) x 100.

FIGURA 7 -Amostra de Vinho Bruto na Câmara de Neubauer.



Fonte: Arquivo pessoal.

FIGURA 8 - Contagem das Células de Leveduras Vivas (incolores) e Mortas (avermelhadas) na Câmara de Neubauer.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.2 Determinação do teor alcoólico (°GL) em Vinho Bruto e Fermento em densímetro digital e microdestilador de álcool

A análise de teor alcoólico (°GL) consiste na agitação da amostra de vinho bruto ou fermento por alguns segundo em um frasco tampado. Após a agitação o frasco foi destampado onde ocorre a liberação e desprendimento do CO₂. Pipetou-se 25 ml da amostra agitada e colocou-se no aparelho microdestilador de álcool na FIGURA 9 para a destilação em balão de 50 ml.

FIGURA 9 - Microdestilador de Álcool



Fonte: Arquivo pessoal

Após realizar o processo de destilação da amostra a mesma passa pelo densímetro digital marca Anton Paar modelo DM 4500 Figura 10, que expressa os valores em volume °GL, de acordo com o Manual de Métodos de Análises para Controle da produção de Açúcar e Álcool (2003).

FIGURA 10 - Densímetro Digital Anton Paar modelo DM 4500



Fonte: Arquivo pessoal.

3.3.3 Determinação dos Açúcares Redutores Totais (ART)

A determinação de açúcares redutores totais é feita por meio do método titulométrico, segundo a metodologia de Lane e Eynon (1923), que consiste na redução do cobre presente na solução de Fehling. Os resultados foram expressos em porcentagem de glicose (IAL, 1985).

FIGURA 11 - Determinador de Açúcares Redutores Redutec.



Fonte: Arquivo pessoal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados apresentados em forma de gráficos no presente trabalho foram gerados e avaliados com base nos dados analíticos fornecidos pelo Laboratório Industrial ao longo das safras anteriores e posteriores à introdução da fábrica de açúcar (13/14), os quais estão disponibilizados em boletins analíticos e industriais de gerenciamento diário da unidade produtora. Dessa maneira podemos observar a melhora do processo Fermentativo, após a introdução e incorporação do melaço ao preparo do mosto, que é enviado à fermentação para alimentação das leveduras.

Segundo Silva, (2008), os nutrientes são essenciais para uma boa condução da fermentação alcoólica dos quais podem estar presente no mosto, sendo dispensável seu acréscimo, porém na maioria dos mostos são necessários fazer a complementação destes nutrientes que podem ser adquiridos por meio do melaço.

O melaço é na verdade o mel final, contendo grande quantidade açúcares redutores totais e nutrientes que são favoráveis e necessários para o desenvolvimento celular das leveduras. Este melaço chega a uma concentração de 78° Brix e ART de 60 ml, contudo o mesmo é diluído com água 20% para a alimentação das leveduras (MORAES et al., 2015).

A quantidade de melaço produzido geralmente fica em torno de 3 a 4 ton/100 ton de cana moída, isto irá depender da concentração de sacarose contida no caldo primário que se introduz na fábrica de açúcar (REIN, 2013).

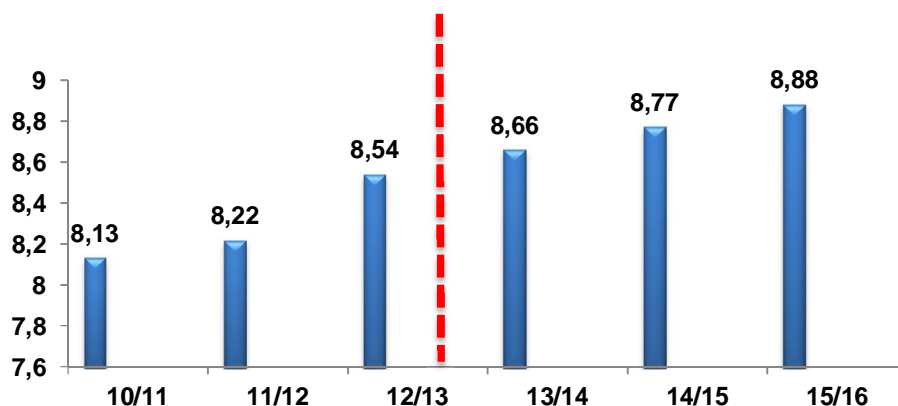
Após a unidade produtora começar reaproveitar o mel ao seu processo fermentativo pode-se observar na empresa a elevação do Teor Alcoólico do vinho bruto, que é de extrema importância no processo de fabricação do álcool, uma vez que é esgotado nas colunas de destilação.

Mantendo este valor elevado houve uma economia no balanço energético industrial, pois o consumo de vapor/ton cana na destilação foi menor, devido que, ao ser concentrado a retenção nos aparelhos de destilação foram inferiores aos de quando apresentavam valores abaixo de 8,5, sendo assim, obteve se outro benefício a redução na produção de vinhaça, o qual é o

principal subproduto da destilação e o grande desafio das indústrias sucroalcooleiras.

Nas safras 10/11 a 12/13 apenas se fazia a alimentação das leveduras com o caldo extraído das moendas, que era enviado ao tratamento térmico e logo depois enviado a fermentação. A média destas três safras no teor alcoólico do vinho bruto alcançou uma média de 8,3 %, enquanto que nas safras de 13/14 á 15/16, após a incorporação do melaço a média se elevou para 8,8%, conforme descrito na Figura 12.

FIGURA 12 – Valores Médios de Teor Alcoólico do Vinho Bruto em porcentagem, nas diferentes safras anteriores e o pontilhado representa as safras onde houve o acréscimo do melaço incorporado ao mosto.

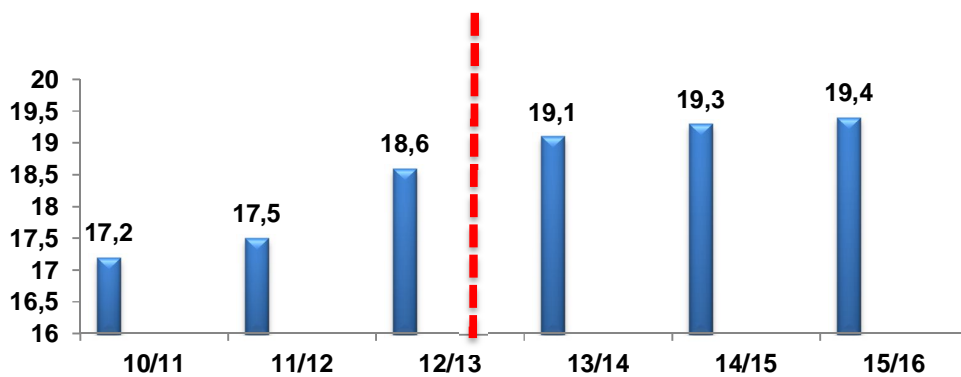


Fonte: Elaborado pela autora.

A elevação do teor alcoólico se deu pela elevação no °Brix do mosto que é uma suspensão de substrato açucarada numa solução adequada para a fermentação (RIBEIRO, 2010), ou seja, aumentou após a introdução do melaço ao mosto, aumentando a concentração de açúcares, melhorando este índice.

No período das safras 10/11 a 12/13, havia grande oscilação destes parâmetros. Porém a partir das safras 13/14 a 15/16 manteve-se uma constância nos valores mantendo acima de 19° Brix (Figura 13).

FIGURA13 - Valores Médios de °Brix Mosto nas diferentes safras anteriores e o pontilhado representa as safras posteriores a incorporação do melaço proveniente da fábrica de açúcar.

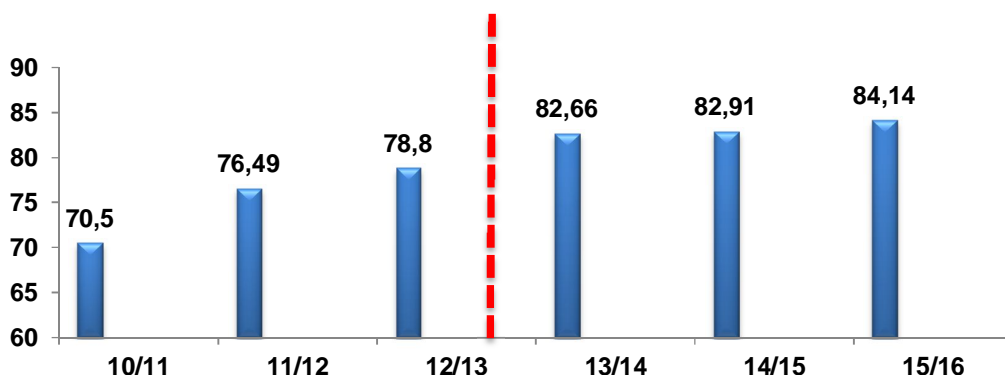


Fonte: Elaborado pela autora.

A viabilidade celular é a porcentagem de células viáveis em relação às células mortas totais, ou seja, este índice revela as condições e condução da fermentação, com os valores de °Brix mantendo se na média de 19°, a viabilidade celular saltou de 75,26% (média das safras 10/11 a 12/13) para média de 83,26%(média das safras 13/14 a 15/16), pois quanto mais concentrada estiver a solução açucarada de mosto, maior será a viabilidade celular e conseqüentemente maior será o teor alcoólico do vinho, ou seja, mais alimento para as leveduras consumirem e se desenvolverem, assim como, o mosto a partir da incorporação do melaço passou a ter nutrientes necessários para o desenvolvimento celular.

Quanto maior a viabilidade celular melhor será o desempenho do rendimento fermentativo e produtivo. Na Figura14 é possível verificar a evolução deste índice nas 6 últimas safras.

FIGURA 14 – Valores Médios da Viabilidade Celular em porcentagem ao longo das últimas seis safras.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir do momento em que se passou a utilizar o mosto contendo o melaço proveniente da fábrica de açúcar, ocorreu uma redução no consumo de Nutrientes em gramas/litro de etanol produzido, pois estes nutrientes são essenciais para a manutenção da viabilidade celular.

O caldo de cana demanda de uma complementariedade correta de certos nutrientes para o desenvolvimento da fermentação para que se processe com máxima robustez, de acordo com Novaes (1971) e Vasconcelos (1987), embora o mesmo seja rico em certos nutrientes dispõe de um desequilíbrio entre os mesmos em sua composição, por isto torna-se necessário a complementação por parte destes no processo fermentativo, sendo industrializados pelos disponíveis no mercado e ou pela complementação por meio da inserção do mel esgotado da fabricação do açúcar. E no presente trabalho, este último se mostrou viável economicamente para a empresa.

Ainda segundo Novaes (1971) e Vasconcelos (1987), a relevância destes nutrientes no processo fermentativo seja sobre o ponto de vista qualitativo como quantitativo, só ocorrem com a incorporação destes nutrientes, pois algumas reações enzimáticas na fermentação alcoólica só ocorrem devido à quantidade correta de determinados elementos, tais como os relatados a seguir resultando em um rendimento fermentativo elevado.

O zinco e manganês são estimulantes a fermentação das leveduras, pois são ativadores de sistemas enzimáticos pertinentes à fermentação (Fosfoglicolico-mutase, Hexoquinase, Aldolase, Quinose do ácido Fosfoglicérico, Enolase, etc.). O Zinco não é substituído por nenhum outro ion em suas funções, é integrante das disidrogenases alcoólicas, e dessulfidases, esses elementos são absorvidos por processo ativo com gasto de energia.

O magnésio por sua vez participa dos sistemas enzimáticos relativos às reações envolvidas na fermentação alcoólica como ativador no processo glicolítico de transforases e carboxilases (Ex.: Fosforilase, Fosfoglicomutase, Enolase, Carboxilase) estimulando assim a absorção do H_2PO_4 , incrementando a fermentação. Mantém a integridade e permeabilidade das membranas, e regula o transporte dos cátions bivalentes, possuem papel relevante na multiplicação e fermentação.

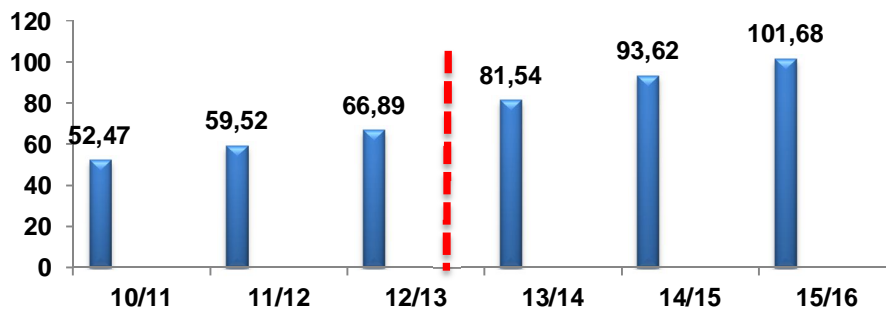
O nitrogênio é essencial ao crescimento e a fisiologia das células de acordo com Santos (2008), é possível verificar a importância dos nutrientes que aumentam a desempenho da levedura, ou seja, o ideal é que o meio proporcione estes nutrientes, ou que sejam introduzidos na fermentação de forma a ser suprida as necessidades fisiológicas das leveduras. Conforme Santos (2008), a falta do nitrogênio pode ainda causar deficiência no meio levando as leveduras aumentar a produção de outros componentes secundários ao invés da produção de etanol, o que seria prejudicial às leveduras e a indústria como a perda de eficiência industrial.

A quantidade de nitrogênio presente no mosto aumentou mesmo após a diminuição da ureia, entretanto se elevou na safras 13/14,14/15 e 15/16, conforme relatado na Figura 16 .

A partir da incorporação do melaço a partir na safra 13/14, a indústria obteve valores significantes na redução dos gastos com nutrientes industrializados indispensáveis para o desenvolvimento celular, dos quais eram adquiridos de empresas externas, ou seja, gastava-se para suplementação do meio. E com o reaproveitamento do melaço, o qual possui grande parte destes nutrientes, pode se observar na Figura 16 que a quantidade de GRS/LT por

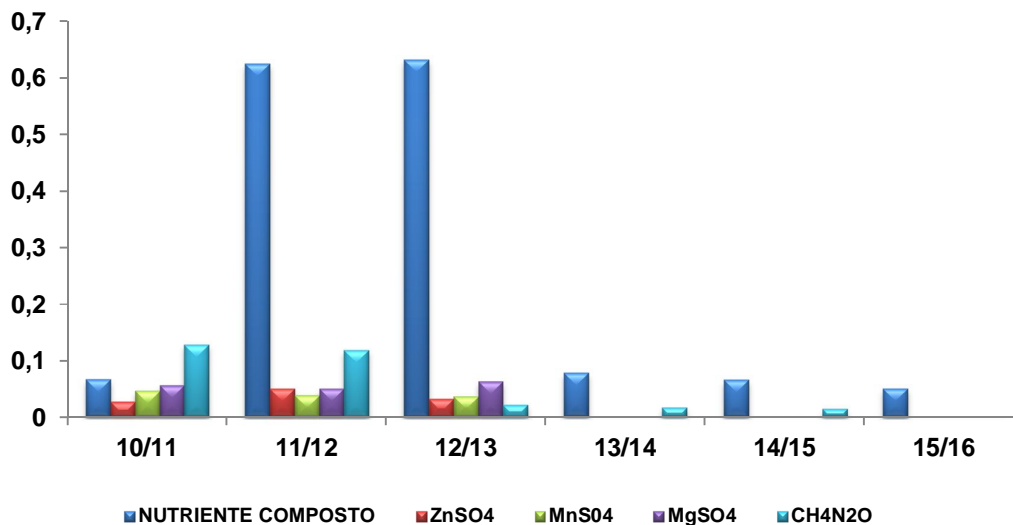
etanol gastos com nutrientes foi reduzida drasticamente, chegando a valores próximos ao zero (Figura 16).

FIGURA 15 – Quantidade de nitrogênio (ppm) presente no mosto nas diferentes safras.



Fonte: Elaborado pela autora.

FIGURA 16– Nutrientes GRS/LT utilizados nas diferentes safras em gramas/litros de etanol.

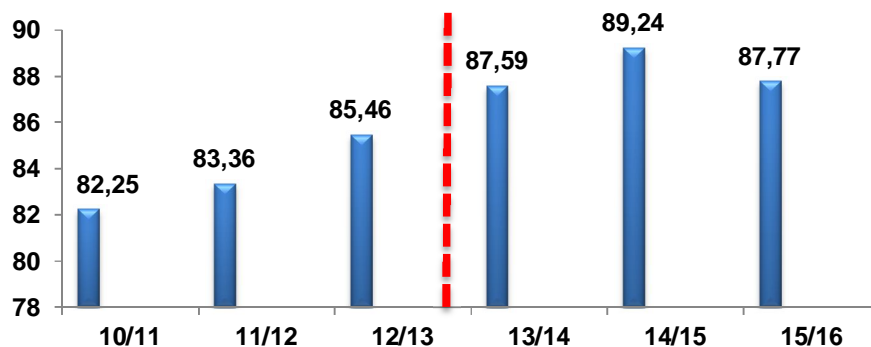


Fonte: Elaborado pela autora.

Esta composição do substrato para alimentação das leveduras consiste em diversos fatores e circunstâncias dos nutrientes disponíveis que sejam necessários às leveduras, onde de acordo com CARVALHO; SATO, 2001 o Zinco, manganês são muito importantes e causam efeito satisfatório na execução da respiração e no percentual de crescimento das leveduras *Saccharomyces cerevisiae*.

O progresso e evolução do processo fermentativo podem ser verificados abaixo na Figura 17, que mostra gradativamente a elevação dos valores de 83,69% (média das safras 10/11 a 12/13) para 88,2% (média das safras 13/14 a 15/16) no rendimento fermentativo. Contudo nas safras 13/14 e 15/16, a usina passou por problemas de elevação na temperatura das dornas, o que se deu um pequeno declínio neste indicador. No entanto na safra 16/17, junto com o departamento de engenharia e projetos a usina ampliou os seus trocadores de calor a fim de evitar elevações nas temperaturas das dornas, buscando na safra futura (16/17) um valor próximo dos 92%.

FIGURA 17 – Rendimento Fermentativo



Fonte: Elaborado pela autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As etapas do processo fermentativo consiste em adicionar o fermento nas dornas de fermentação e iniciar a fase de alimentação com o mosto, durante o período de 4 a 5 horas entre o início e ao fim alimentação da dorna, após esta fase as leveduras permanecem no meio por mais cerca de 3 horas, onde se interrompe a alimentação com mosto e aguardar-se as leveduras metabolizar todo o açúcar da dorna, ou seja, por exemplo um Mosto com °Brix de 18,0 em início de fermentação fica em torno de 1 à 1,5 em final de fermentação.

Durante esta fase de fermentação alguns cuidados devem ser verificados para o alcance máximo da eficiência fermentativa, isto é, adição de nutrientes que ajudam e auxiliam no desempenho das leveduras.

E no presente trabalho foi possível constatar que os nutrientes presentes no melaço da produção de açúcar foram muito importantes para o desenvolvimento e manutenção das leveduras, bem como a diminuição dos gastos da empresa com os nutrientes industrializados. Então, a recomendação para o setor sucroalcooleiro é reutilizar o melaço no processo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS/ ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Bicomustíveis. Rio de Janeiro/ RJ: ANP, 2010.

ANCIÕES, A. W. F. Avaliação tecnológica do álcool etílico. In: CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 2. ed.: CNPq, 1980.

AQUARONE, E.; LIMA, U.A; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas obtidos por fermentação**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983. (Biotecnologia 5),

ALMEIDA, J. R. **Curso sobre fermentação alcoólica**. Piracicaba: ESALQ/ Instituto Zootécnico, 1960. v. 2, p254-260.

ALMEIDA, J. R. **Processo de recuperação de levedura ou processo Melle-Bointt**. In: Anais... Semana da Fermentação Alcoólica, 1., Piracicaba, p. 254-262,1960.

AMARAL, K. A. S. et al. Aflatoxinas em produtos à base de milho comercializados no Brasil e riscos para a saúde humana. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 26, n. 2, p. 336-342, 2006.

AMORIM, H. V. Álcool de cana, milho e biomassa. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/download/palestras/alcool_canamilhobiomassajul.de_2007>. Acesso em: 2 mar. 2016.

ANDRIETTA, M. G. S.; STECKELBERG, C.; ANDRIETTA, R. R. Bioetanol: Brasil 30 anos na vanguard. **Multi-ciênci.: Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da UNICAMP**, Campinas, v.7, p.1-16, out. 2006.

ARAÚJO, J. A **Obtenção do etanol por fermentação alcoólica**. Rio Largo: IAA-PLANISCAR(COONE), 1983. 83 p.

BATISTA, M. A. **Estudo da imobilização de células de *Saccharomyces cerevisiae* em gel de alginato de cálcio no processo de fermentação alcoólica**. 2005. – f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de Uberlândia, Uberlândia 2005. Disponível em: <http://www.bdttd.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=670>. Acesso em: 11 set. 2013.

BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar, álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil: Séc. 16-20**. Brasília, Ed. Horizonte INL. 1984 269p.

CARVALHO, J. C. M.; SATO, S. Fermentação descontínua. In: LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. **Biotecnologia industrial**: engenharia bioquímica. São Paulo: Edgard Blucher, 2001, p.193-204. v. 2.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar Safra 2013/2014. Primeiro Levantamento Abril/2013. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_29_31_boletim_cana_portugues_abril_2013_1o_lev.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.

CONAB. 2012. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar - safra 2012/2013 - Terceiro Levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_12_10_34_43_boletim_cana_portugues_12_2012.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.

EINSEBERG, P. L. **Modernização sem mudança**: a indústria açucareira em pernambucana 1940-1910. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997. (coleção de estudos brasileiros, 15)

FERMENTEC. Métodos analíticos para o controle da produção de açúcar e álcool. 3. ed. Piracicaba: Fermentec, 2003.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. 34. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2007. p. 25-248.

ICIDCA (Instituto Cubano de Pesquisa dos Derivados da Cana de Açúcar). Manual dos derivados da cana de açúcar. Brasília: ABIPTI, 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 3. ed. São Paulo: IAL, 1985.533p.

LEME, R. M. Álcool combustível derivado da cana-de-açúcar e o desenvolvimento sustentável. In: Anais. Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural, 2004.

LIMA, U. A. Produção de Etanol. In: LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. **Biotecnologia: tecnologia das fermentações: biotecnologia**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1975. v. 1, Cap. 3.

LIMA, J. P. L.; SICSÚ, A. B. Revisando o setor sucroalcooleiro do nordeste: O novo contexto e a reestruturação possível. **Estudos Infosucro**, Piracicaba, n. 4, p., out. 2001.

MAPA. 2007^a. Acompanhamento da Produção Sucroalcooleira Safra 2006/2007. Disponível em :
<<http://mapas.agricultura.gov.br/spsc/daa/Resumos/Setembro06-07-2.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

MAPA. 2007^b . Cadeia Produtiva da Agroenergia. Secretária de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Série Agronegócios . v. 3. Disponível em :
<<http://www.iica.org.br/Docs/CadeiasProdutivas/Cadeia%20Produtiva%20da%20Agroenergia.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

MENEZES, T. J. B. de. **Etanol: o combustível do Brasil**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 233 p.

MICHEL JUNIOR, R. J. S. **Obtenção do álcool etílico hidratado, com graduação alcoólica para uso automotivo: validação de um processo em batelada**. 2010. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MORAES; O. O; RODRIGUES, W. S. R; LOPES, K. C; RESENDE, F. M. Estudos Comparativos no Processo Industrial de produção de bioetanol a partir do melaço e caldo de cana-de-açúcar. In: Anais... 1º Congresso Nacional de Engenharia, Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2015.

NOVA CANA. A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo). 2007. Disponível em:
<<https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo> Acesso em Abril de 2016>. Acesso em: 10 abr. 2016.

NOVAES, F. V. et al. **Tecnologias das aguardentes (apontamento de aulas)**. Piracicaba: ESALQ, USP, Dept°. de Tecnologia rural, 1971. 138 p.

OLIVEIRA, E. C. **Balço energético na produção de álcool da cana-de-açúcar: Comparativo com a produção norte americana de etanol por meio da utilização de milho**. 2010. 56f. TCC (Graduação em Física com Ênfase em Física Ambiental) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2010.

PENIDO FILHO, P. **O álcool combustível: obtenção e aplicação nos motores**. São Paulo: Nobel, 1981.

PENIDO, F. P. **Álcool combustível: obtenção e aplicação nos motores**. São Paulo: Nobel, 1949. 458p.

REIN, P. **Engenharia do açúcar de cana**. Berlin: Bartens, 2013.

RIBEIRO, C. A. F.; HORII, J. Potencialidades de linhagens de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* para a fermentação do caldo de cana. **Ciências e Tecnologia dos Alimentos**, v. 56, n. 2, p. 33-36, 1999.

STECKELBERG, G C. **Caracterização de leveduras de processos de fermentação alcoólica utilizando atributos de composição celular e características cinéticas**. 2001. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2001.

SANTOS, A. M. **Estudo da influência da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada.** 2008 – f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008
Disponível em:
<http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgeq/dissertacao_alessandra.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2016.

SOUZA, C. S. **Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de *S. cerevisiae*.** 2009. 136 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade de São Paulo/ Instituto Butantan / IPT, São Paulo, 2009.

TOSETO, G. M. **Influência da matéria-prima no comportamento cinético de levedura na produção de etanol.** 2002. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

VASCONCELOS, J. N. de Influência da complementação de nutrientes fosfatados sobre o processo de fermentação alcoólica industrial. **Brasil Açucareiro** v. 5/6, n. 105, p.41-48, 1987.

APÊNDICE

Açúcares fermentescíveis

Denominação dos açúcares que podem ser transformados em álcool pela fermentação.

Açúcares redutores (AR)

Substâncias redutoras da cana-de-açúcar e seus produtos, constituídas principalmente por glicose e frutose, que tem a propriedade de reduzir o íon cúprico para óxido cuproso do licor de Fehling calculadas e expressos como açúcar invertido.

Açúcares redutores residuais totais (ART)

Substâncias redutoras totais presentes no vinho que podem não ser aproveitadas pelo processo de fermentação, as quais recebem a denominação de não fermentescíveis.

Açúcar

Sólido cristalino, orgânico, constituído basicamente por cristais de sacarose, envolvidos ou não por película de mel de alta ou baixa pureza.

Bagaço

Resíduo da cana após a moagem em um terno ou em um conjunto de ternos. Os bagaços são chamados sucessivamente por bagaço do 1º terno, 2º terno, etc. O bagaço do último terno também é chamado de bagaço final ou simples.

Brix

Porcentagem em massa de sólidos solúveis contida em uma solução de sacarose quimicamente pura.

Cana-de-Açúcar

Matéria-prima entregue na indústria, constituída por colmos de cana limpa e matéria estranha (palhas, terra, etc). Gramínea do gênero *Saccharum*, pertencente às espécies *Saccharum officinarum L.*, *Saccharum spontaneum L.*, *Saccharum sinensis Roxburgo*, *Saccharum barberi Jeswiet*, *Saccharum robustum, Jeswiet* ou seus híbridos.

Grau Gay-Lussac (°GL)

Quantidade em mililitros de álcool absoluto contida em 100 mililitros de mistura hidroalcoólica.

Infermentescíveis

Substâncias redutoras que não são transformadas em álcool através do processo fermentativo.

°INPM

Quantidade de gramas de álcool absoluto contida em 100 gramas de mistura hidroalcoólica.

Mel final ou Melaço

Mel retirado da massa cozida final e do qual não se retira mais açúcar economicamente.

Mosto

Líquido açucarado capaz de sofrer fermentação.

Pé-de-cuba

Suspensão de leveduras suficientemente concentrada para garantir a fermentação de um dado volume de mosto.

Pol

Porcentagem em massa de sacarose aparente, contida em uma solução açucarada de peso normal, determinada pelo desvio provocado pela solução no plano de vibração da luz polarizada.

Pureza

Relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada.

Sacarose

Dissacarídeo da família dos carboidratos, dextrógiro, não redutor, de forma cristalina definida, opticamente ativo, com rotação específica $[\alpha]_{D20} = + 66,53^\circ$ e fórmula geral $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Teor alcoólico

Termo utilizado para designar a quantidade de álcool presente em uma mistura hidroalcoólica.