

**UNIVERSIDADE DE UBERABA
CURSO DE FARMÁCIA**

SILAS DIMAS DA SILVA JÚNIOR

**PRODUÇÃO DE ETANOL E COMPARAÇÃO DE RENDIMENTO A
PARTIR DE SUBESPÉCIES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Uberaba – MG
2019

SILAS DIMAS DA SILVA JÚNIOR

**PRODUÇÃO DE ETANOL E COMPARAÇÃO DE RENDIMENTO A PARTIR DE
SUBESPÉCIES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho apresentado à Universidade de
Uberaba, como parte dos requisitos para
conclusão do curso de graduação em
Farmácia.

Orientador: Prof. Dr. Renato Bortocan

Uberaba – MG
2019

Silas Dimas da Silva Júnior

**PRODUÇÃO DE ETANOL E COMPARAÇÃO DE RENDIMENTO A PARTIR DE
SUBESPÉCIES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho apresentado à Universidade de
Uberaba, como parte dos requisitos para
conclusão do curso de graduação em
Farmácia.

Orientador: Prof. Dr. Renato Bortocan

Uberaba, MG, ____ de dezembro de 2019

Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, o sumo agradecimento é direcionado à Deus; por intermédio de seu amor, graça e misericórdia é que se torna possível a conclusão desta graduação, ademais, todo o percurso dessa formação atribuo ao seu cuidado para comigo mediante seu auxílio, direção, discernimento, proteção e outros vários atributos comunicáveis e incommunicáveis do Senhor.

Em segundo, devo muito, também, à minha família, tanto de sangue quanto a que se encontra em Cristo, e em especial aos meus pais, meu irmão, primos, namorada e amigos próximos. Através da vida de todos vocês, Deus tem me abençoado sempre a prosseguir firme na graduação e sempre a buscar todos os objetivos, conquistas e projetos ao meu alcance buscando desempenhá-los com excelência. Sou profundamente grato a vocês por todos os momentos que estiveram comigo e pelo suporte emocional e psicológico além de outras tantas características que vocês desempenharam, e vêm desempenhando, com o decorrer dos dias e anos. Espero, no futuro, ser tão útil a vocês tanto quanto todos foram, e são, para mim e sempre lembra-los que através dos seus conselhos, direcionamentos e compreensões vocês me influenciaram a sempre tomar a melhor decisão debaixo da soberania de Deus e também a aperfeiçoar meu caráter para ser uma pessoa melhor.

Também sou grato a todos aqueles que, através da graduação, me foram proporcionados conhecer, sendo eles meus professores e colegas de turma que desenvolvemos nossa convivência através dos anos. Aos professores, me sinto extremamente realizado por terem acreditado e nos incentivado a nunca desistirmos da graduação juntamente com todas as oportunidades oferecidas por vocês, além de terem visto em toda a turma futuros profissionais competentes e aptos para desempenharmos nossas funções de maneira aprovável. Aos meus colegas, me sinto extremamente feliz de ter chegado até aqui com vocês e por todos os momentos que nos foram permitidos estreitar os laços de amizade, seja em meio à felicidade ou a dificuldade que passamos juntos buscando o melhor de cada um de nós para que então pudéssemos, enfim, sermos chamados de farmacêuticos.

Por fim, deixo registrado também que, eu não poderia ter escolhido turma melhor e mais competente para dividir não só uma graduação, mas sim um momento tão importante desses na minha vida que não fossem vocês.

Muitíssimo obrigado a todos vocês e que Deus abençoe.

RESUMO

Na década de 70, o álcool entra como parte importante da matriz energética brasileira, onde recebeu pesados incentivos governamentais até que sua popularização como combustível teve início junto com o Programa Nacional do Alcool (Proálcool). O etanol (C₂H₅OH), é um líquido límpido e incolor utilizado como combustível ecologicamente correto, sendo que sua produção também pode ser obtida a partir de outras matérias primas que variam de acordo com os critérios de produtividade, resistência a doenças e pragas, teor de sacarose, facilidade de brotação e questões climáticas de cada país produtor. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma planta semiperene pertencente à família das gramíneas, *Poaceae*, indicada para o cultivo em regiões tropicais e leva em sua nomenclaturas, sua principal característica, de modo que o açúcar se encontra nas estruturas que compõe as partes aéreas da planta, chamado colmos. Para a extração dos açúcares, foram utilizadas duas amostras de subespécies da cana-de-açúcar diferentes oriundas de uma usina do município de Uberaba, que são elas a fazenda 17, com a subespécie SP80-1816, e fazenda 74, com a subespécie SP80-3280. Nas usinas, a cana-de-açúcar passa por diferentes estágios durante sua produção, sendo eles a lavagem, moagem, embebição composta, tratamento do caldo, preparo do mosto, fermentação, produção do vinho e destilação do mesmo. O caldo de cana-de-açúcar foi obtido através da compressão da mesma em uma máquina própria para esse fim. Ambas as amostras obtidas foram expostas aos mesmos estresses, desde o congelamento, esterilização, à fermentação, pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* até a fase de destilação. Na última fase foi evidenciado um problema no termostato da mufla correspondente a fazenda 74 fazendo com que fosse destilada H₂O juntamente com o etanol, onde os volumes finais das fazendas 17 e 74 foram de 42 mL e 156 mL, respectivamente. A partir da padronização de alguns reagentes, como o amido, dicromato de potássio e iodeto de potássio, foi possível realizar a quantificação do teor alcóolico presente em cada uma das amostra, sendo que, a fazenda 17, em 1 L de caldo de cana-de-açúcar, possuiu um teor alcóolico de 255,36 mg de etanol e a fazenda 74, também em 1 L de caldo de cana-de-açúcar, possui um teor alcóolico de 362,60 mg de etanol. Se for considerado ambas as extrações no mesmo volume de 42 mL, que foi o mínimo obtido, a matéria prima oriunda da fazenda 17 gastou uma maior quantidade de reagente de titulação para a obtenção de resultados, evidenciando uma maior presença de etanol em sua amostra também sustentada pelo teor alcóolico de 255,36 mg de etanol obtido em relação a 97,44 mg da fazenda 74, sendo seu rendimento maior.

Palavras-chave: Etanol; cana-de-açúcar; extração; fazenda 17; fazenda 74.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVO GERAL	8
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	8
3. PROCESSO DE PRODUÇÃO	9
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.2 MATERIAIS	9
3.3 MÉTODOS	10
3.3.1 LAVAGEM	10
3.3.2 MOAGEM	10
3.3.3 EMBEBIDAÇÃO COMPOSTA	11
3.3.4 TRATAMENTO DO CALDO	11
3.3.5 PRÉ-EVAPORAÇÃO	12
3.3.6 PREPARO DO MOSTO	13
3.3.7 FERMENTAÇÃO	13
3.3.8 VINHO	15
3.3.9 DESTILAÇÃO	15
3.3.10 PADRONIZAÇÃO DE REAGENTES	16
3.3.11 TEOR ALCÓOLICO	17
4. RESULTADOS	18
4.1 RESULTADOS DA DESTILAÇÃO	18
4.2 RESULTADOS DO TEOR ALCÓOLICO	18
5. DISCUSSÃO	20
6. CONCLUSÃO	21
7. REFERÊNCIAS	22

1. INTRODUÇÃO

O etanol, também conhecido como álcool etílico, álcool hidratado ou ARHC (C_2H_5OH), é um líquido límpido e incolor utilizado como combustível ecologicamente correto.¹⁰ Sua obtenção pode ser realizada através da fermentação dos açúcares, a partir de biomassa, hidratação do etileno ou até mesmo a redução do acetaldeído.^{12,23}

No Brasil, a produção alcóolica se dá principalmente através do cultivo da cana-de-açúcar, sendo, o país, líder mundial na produção da cana e seus derivados²⁹; contudo, além dos compostos principais da cana, a produção do biocombustível gera resíduos como, o bagaço, a vinhaça, o óleo fusel e entre outros, onde as indústrias reutilizam tais compostos a fim de minimizar os impactos ambientais, gerar lucros e evitar gastos desnecessários.⁴

Na década de 70, o álcool entra como parte importante na matriz energética brasileira, onde, mesmo com os percalços econômicos encontrados ao longo dos anos, o mesmo recebeu pesados incentivos governamentais¹¹, sendo que, sua popularização como combustível, se deve ao Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que tinha por objetivo alcançar uma menor dependência dos combustíveis a base de petróleo no país.⁶

Em meados dos anos 2000, 60% da produção alcóolica no mundo teve origem do cultivo não só da cana-de-açúcar, mas também da beterraba, predominante nas regiões da União Europeia devido a condições vegetais em relação ao clima e ao cultivo⁸, sendo que, o restante da produção mundial, foi realizada através de cereais, tal como o milho, principal fonte de biocombustível dos E.U.A.⁶⁸

A produção etanólica também pode ser realizada a partir de outras matérias-primas, onde cada país utiliza aquela que melhor se adequa aos critérios de produtividade, resistência a doenças e pragas, teor de sacarose, facilidade de brotação² e questões climáticas.⁸ É importante deixar claro que matérias-primas amiláceas, tais como o milho, trigo e outros grãos, demandam processos enzimáticos de altas temperaturas para que haja a conversão desses açúcares, porém, no caso, tanto da cana-de-açúcar, quanto da beterraba, apenas se faz necessário a extração dos açúcares para que então a produção do biocombustível seja realizada.⁶

Além disso, segundo o Programa Nacional de Biocombustível da Costa Rica, outras fontes também podem ser utilizadas, tais como, La Palma Aceitera, La Higuera, El Tempate, La Yuca Industrial e El Sorgo¹², porém, o rendimento quantitativo do etanol através da cana-de-açúcar ainda se mostra mais eficiente que as demais fontes.⁸

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é a comparação final de rendimento e teor alcóolico entre a extração de duas subespécies de cana-de-açúcar diferentes.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Estudar, reproduzir e comparar o rendimento alcóolico de duas subespécies de cana-de-açúcar diferentes a fim de obter seu rendimento final e teor alcóolico presente em cada uma das amostras.

3. PROCESSO DE PRODUÇÃO

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muito cultivada no Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma planta semiperene pertencente à família das gramíneas, *Poaceae*, indicada para o cultivo em regiões tropicais, passível em quase todo o território nacional, exceto Santa Catarina e Rio Grande do Sul devido às condições climáticas.^{2,6}

Em vista do potencial de mercado da cana-de-açúcar, a mesma não é tratada apenas como um simples produto, mas sim como uma importante matriz energética.⁹ De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2007 o etanol ultrapassou a energia proveniente de hidroelétricas e passou a ser vista como a segunda maior fonte de energia do país;⁹ confirmando o Brasil, como líder mundial na produção da cana-de-açúcar e seus derivados.^{2,9}

A cana pode ser apresentada dos mais variados tipos de acordo com os critérios escolhidos para cada região, sendo eles a produtividade, teor de sacarose, facilidade de cultivo, entre outros,² além de poder ser melhorada geneticamente através de biotecnologia, que teve seu início na década de 90.⁹

Semelhante a outras nomenclaturas, a cana-de-açúcar leva em seu nome sua principal característica, de modo que tal composto se encontra nas estruturas que compõe a parte aérea da planta, chamado colmos,⁶ sendo que a planta também é importante devido sua contribuição para a fixação do CO₂ atmosférico e redução na taxa de aquecimento global.²

3.2 MATERIAIS

Para a extração do álcool, alguns materiais são necessários para que todas as etapas sejam cumpridas adequadamente. No caso das usinas, os processos realizados são através de esteiras, moendas, lavadores, compressas, dornas e assim sucessivamente.²

Os materiais utilizados, para que todas as etapas fossem realizadas por este trabalho, abrangeram aqueles que podem ser encontrados em laboratório, visto que a extração estimada é de pequena escala e por isso não necessita de extensos processos nem materiais de alto custo e/ou alta complexidade.

Para isso, foram utilizados balança de precisão, banho-maria, balões volumétricos de 100, 50 e 25 mL, pipetas de 100, 50 e 20 mL, Erlenmeyer de 2000, 250 e 100 mL, béquer de 2000, 100 e 50 mL, funil de vidro e de plástico, termômetro, bureta, com seu devido suporte, e também todo o material utilizado para destilação em laboratório, como bico de bunsen, mufla, coluna para destilação, balões volumétricos, centrífuga, para a parte de separação da levedura

e o mosto fermentado (vinho), e recipiente para armazenamento da amostra. Além disso, foram utilizados outros recursos presentes no laboratório, tais como cronômetros, reagentes e correto ambiente de estufa, para a proliferação das bactérias e manutenção da temperatura.

3.3 MÉTODOS

Para a extração dos açúcares, foram utilizadas duas subespécies da cana-de-açúcar oriundas de duas fazendas diferentes, que são elas fazenda 17, com a subespécie SP80-1816, e a fazenda 74, com a subespécie SP80-3280, onde a matéria prima é proveniente de uma usina no município de Uberaba, Minas Gerais. Tanto para a fermentação, quanto a destilação, foram fornecidos um total de 5 L de caldo (Garapa) de cada subespécie de cana; mantendo em mente a relação: 180g glicose = 92g de Álcool etílico e 88g de CO₂.²

Desses 5 L fornecidos pela usina, foram utilizados um total de 2 L para os processos descritos nesse trabalho, dessa forma, a quantidade de amostra foi suficiente sem a necessidade de refazer nenhum dos processos. Mesmo utilizando apenas 2 L, dos 5 L fornecidos, para a realização dos processos, os outros 3 L foram armazenados em caso de surgimento de alguma necessidade em refazer as etapas dos testes descritos, porém, não se fez necessário.

As demais etapas do trabalho foram descritas separadamente ao longo do mesmo, sendo assim, é possível identificar cada etapa de maneira única e manter todas as etapas bem enumeradas e claras.

3.3.1 LAVAGEM

O primeiro processo a ser realizado após a colheita da cana-de-açúcar é a lavagem da mesma, já que ela está sujeita a contaminações e fácil deterioração no decorrer do processo.² A terra excedente, oriunda da lavoura, juntamente com pedras, seixos, areia e outras impurezas, então é retirada para que a cana possa ter seus colmos cortados e o processo de moagem seja otimizado para a máxima liberação do caldo.^{2 4 6}

3.3.2 MOAGEM

A moagem, também chamada de extração por pressão ou difusão,^{3 6} se dá através da compressão da cana entre rolos que aplicam força sobre ela. Com essa força, e pressão, o caldo é expulso do interior das células e, então, tal processo se repete por mais vezes e passa a se chamar embebedação composta.²

No caso desse trabalho, o caldo foi obtido diretamente de uma usina, sendo ela uma fonte fidedigna de informação, já que a mesma é capaz de fornecer tanto as informações de espécie quanto as subespécies da cana-de-açúcar, uma vez que tais informações são relevantes para o processo industrial.

Para a extração do caldo, uma pequena quantidade de amostra das fazendas é pega dos caminhões que realizam o transporte da cana, dessa forma, uma pequena quantidade chega até os laboratórios da usina e essas amostras são compensadas por uma máquina que então dá origem ao caldo de cana.



Fotos: Arquivo Pessoal

3.3.3 EMBEBIDAÇÃO COMPOSTA

A embebidção composta consiste em um processo de repetição da moagem para que ocorra a maior extração possível de sacarose oriunda da planta.^{2,6} Tal processo se dá através da adição de água ao bagaço para que qualquer concentração de sacarose, ainda presente no interior das células, sejam diluídas a fim de se obter o máximo de rendimento.^{2,4,6} Através desse processo, é possível extrair cerca de 96% do açúcar presente na cana na forma de caldo, ou comumente conhecido como garapa,³ que será posteriormente tratado para a sequência dos processos.²

3.3.4 TRATAMENTO DO CALDO

Para o tratamento do caldo, pode-se utilizar tanto o aquecimento,^{2,15} quanto produtos químicos, porém, seu uso implica na necessidade de outros processos durante a produção.⁴

Através de produtos químicos, podem ser utilizados cal virgem (CaO), para limpar e clarificar o caldo; anidrido sulfuroso (SO₂), para a correção de pH, diminuição da viscosidade,

formação de complexos com açúcares redutores e preservação do caldo contra outros microorganismos e contra o amarelamento; ácido fosfórico (P_2O_5), para a remoção de corantes e partes de colóides do caldo; anidrido carbônico (CO_2), como complementar à clarificação; e por fim, óxido de magnésio, para a remoção de impurezas sem afetar o teor de sacarose do caldo.^{4 6}

Apesar dos produtos químicos poderem ser utilizados, o tratamento do caldo escolhido foi por aquecimento, logo, o tratamento do mesmo consiste apenas na elevação de temperatura à $99,9^\circ C$ para que o caldo seja estabilizado e depois deixado para decantar.^{2 15}

Na parte de decantação, o caldo foi deixado em repouso por 24h para que houvesse total deposição dos demais compostos, sendo assim, após esse período é que foi retirado cerca de 1 L e 100 mL para que então, tanto o processo de fermentação, quanto o de destilação pudessem ser realizados.

Após o processo de decantação, o caldo, agora clarificado, irá para a fase de pré evaporação e o iodo resultante da decantação, será retirado.²

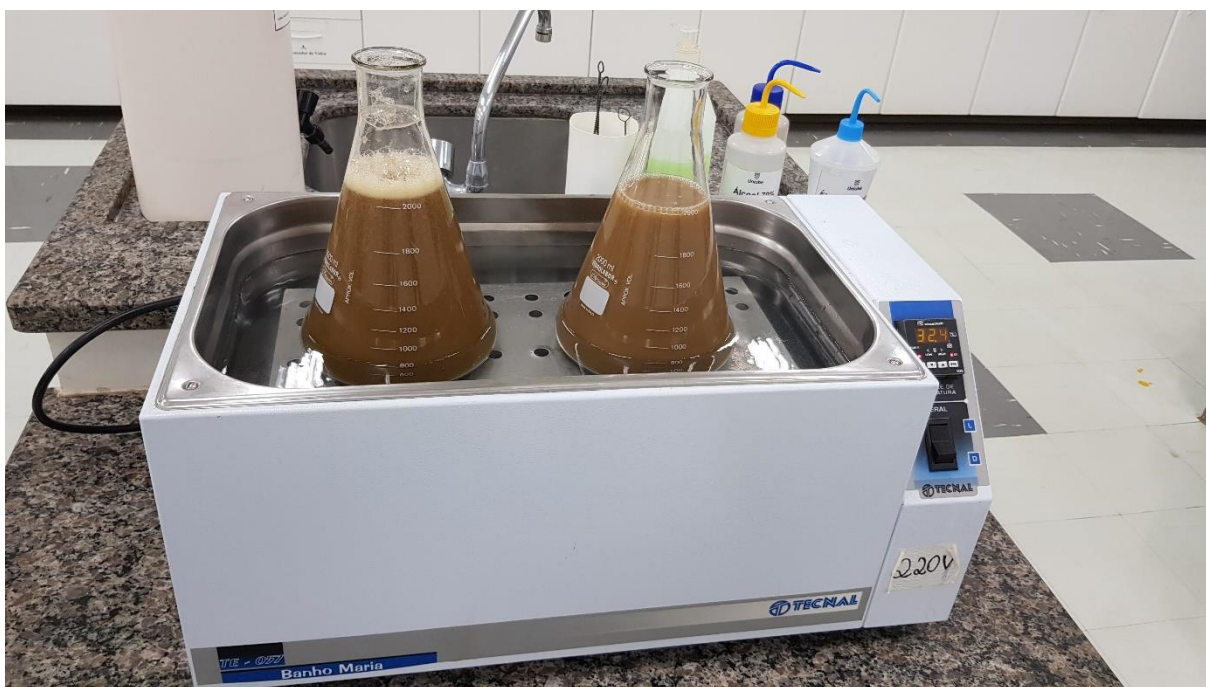


Foto: Arquivo Pessoal

3.3.5 PRÉ-EVAPORAÇÃO

A etapa de pré-evaporação é onde o caldo clarificado, após o tempo de decantação, será elevado à temperatura de $115^\circ C$.² Com essa elevação de temperatura, o caldo sofrerá ação do calor, que resultará na evaporação da água e deixará um meio favorável para os

microorganismos na hora da fermentação, já que, no meio, não terá outros microorganismos para competir com aquele que será inoculado para a obtenção do álcool, devido à elevação de temperatura ter esterilizado o caldo.²

No caso deste trabalho, apenas a esterilização foi realizada, sendo que, após tal processo, o caldo de cana foi posto em recipiente devidamente higienizado e então foi posteriormente congelado por um período de cinco dias, para que nenhum processo microbiológico interferisse no caldo e já começasse a fermentação antes do tempo adequado.

3.3.6 PREPARO DO MOSTO

Após a fase de pré-evaporação, é obtido então o mosto, que consiste em um líquido açucarado que já pode ser colocado para fermentar juntamente com as bactérias.² Tal composto pode ser levado à fermentação de maneira direta, somente com o caldo, ou misturada, caldo e melão, sendo que essa mistura é mais frequentemente utilizada no Brasil já que as usinas produzem ambos os compostos no mesmo local.⁶

O brix ideal para o mosto, depende do tipo do microorganismo utilizado, sendo que, quando há a diluição, a fermentação se dá de maneira mais fácil, rápida e completa, porém, necessitando de níveis de vapor de água maiores, já que o processo é realizado a partir das trocas com o oxigênio, e, quando não, a fermentação ocorre de maneira lenta e por vezes incompleta, deixando muito açúcar residual, resultando em um menor rendimento, além de exigir uma limpeza profunda no equipamento.⁴

Para que então o mosto possa ser efetivamente enviado para a fermentação, é necessário que sua temperatura esteja em torno de 30°C, para que possa então ser sequenciado o trabalho.^{2 4 6} No processo aqui realizado, o descongelamento da amostra, pós esterilização e decantação, se deu através de banho maria, para que a amostra não entrasse em fervura e também pudesse haver todo o descongelamento da mesma de maneira uniforme para posterior fermentação.

3.3.7 FERMENTAÇÃO

Esta etapa do processo é onde ocorre a produção do álcool em si, através de microorganismos que são capazes de realizar atividades enzimáticas e assim promover as transformações de substâncias químicas em orgânicas.²

Para sua produção, os microorganismos mais utilizados são a levedura *Saccharomyces cerevisiae* e a bactéria *Zymomonas mobilis*, principalmente,² mas outras bactérias e leveduras

também realizam esse processo, sendo as bactérias as *Erwinia amylovora*, *Spirocaheta litoralis* e a *Thermanaerobacter ethanolicus*, e, as leveduras, a *Saccharomyces ellipsoideus* e *Schizosaccharomyces pombe*.³

As leveduras, durante a produção, apresentam o chamado “efeito Pasteur”, que consiste em uma maior formação de biomassa, em anaerobiose, sendo que, na presença de oxigênio, esse processo ocorre ao contrário.² O microorganismo utilizado foi a levedura *Saccharomuces cerevisiae*, já que seu uso industrial é amplamente disseminado² e desempenham sua atividade de maneira ideal nas temperaturas de 32 à 34°C.⁴

Antes de ser colocado para a fermentação, o inóculo deve ser preparado a partir de sua cultura, sendo que ele será posto em recipientes para que haja a proliferação da levedura até que esteja pronto o suficiente para ser iniciado o processo.³

Nesse trabalho, inicialmente foi posto para a preparação do inóculo, 10g da levedura *Saccharomuces cerevisiae*, proveniente da marca Fleischman, em um balão de 100 mL com água destilada. Essa preparação foi deixada em estufa aquecida a 40°C por 2h para a correta pré-ativação dos microorganismos.

Após isso, os mostos de ambas as subespécies de cana, juntamente com a levedura, foram colocados em tempos e quantidades diferentes visando o melhor e maior rendimento alcoólico após a fermentação. As medidas para a adição do mosto e levedura foram marcadas para primeiro adicionar 50% do inóculo, correspondente a 50 mL, e 50% do caldo, correspondente a 500 mL, de ambas as subespécies e esperar 2h. Feito isso, os últimos 50% de inóculo e de caldo, correspondentes a 50 mL e 500 mL respectivamente, foram adicionados à amostra inicial para que a fermentação ocorresse de maneira adequada.

O tempo total de fermentação foi de 68h à temperatura de 40°C, onde o ambiente utilizado foi o de estufa, pois, o mesmo possui temperatura controlada.



Foto: Arquivo Pessoal

3.3.8 VINHO

Vinho, vinhoto, ou vinhaça, são os termos utilizados para se referir ao mosto fermentado,^{2,3,6} onde, possui em sua composição compostos sólidos, líquidos e gasosos^{2,4} e cerca de 7 a 10% G.L. de álcool.^{2,4,6}

Decorrido o tempo de fermentação, o vinho então é centrifugado para que haja a recuperação do fermento,^{2,4} processos muito utilizados no Brasil onde as leveduras resultantes desse método são recicladas enquanto o vinho segue para outros processos,⁶ e o restante do vinho delevurado é destinado para a etapa de destilação.²

No caso desse trabalho o vinho foi centrifugado por 2 minutos a 800 RPM para que houvesse a separação entre o vinho delevurado e o corpo de fundo relativo a outras impurezas. A respeito da separação do vinho delevurado e do sedimento, a técnica utilizada foi através de inversão dos tubos, sendo que a amostra era depositada em um recipiente devidamente higienizado e pronto para avançar à destilação.



Fotos: Arquivo Pessoal

3.3.9 DESTILAÇÃO

Com o vinho centrifugado, o próximo passo a ser realizado é a destinação dele,^{2,3,4,6} para que então possa-se recuperar o álcool propriamente dito através de diferentes pontos de ebulição para se extrair os compostos.^{2,4}

Nesse processo, o recipiente contendo a amostra de vinho, após ser centrifugado, é posta para aquecer através de uma mufla, sendo que a temperatura do sistema é medida através de um termômetro no topo do sistema e é possível fazer a regulação dessa temperatura através do termostato presente na mufla. Uma vez que a temperatura do sistema esteja em

aproximadamente 77°C^{10} a destilação do álcool é iniciada, a fim de que o álcool seja evaporado, e, na tentativa de escapar do sistema, ele seja condensado, devido a presença de água corrente em temperatura ambiente, para que o mesmo seja obtido no final do sistema.²

Em relação à destilação realizada, ambas as amostras foram destiladas em sistemas separados, sendo assim, um recipiente de plástico estava posto na base dos mesmo para que cada gota de álcool pudesse ser armazenada para posterior dosagem.



Foto: Arquivo Pessoal

3.3.10 PADRONIZAÇÃO DE REAGENTES

Para que os parâmetros de dosagem das amostras estivessem dentro dos limites aceitáveis, se faz necessário a padronização de algumas soluções, já que as mesmas podem ser produzidas de maneira fidedigna sem contaminação prévia.

Foram padronizadas duas soluções principais, sendo elas o dicromato de potássio a 0,001 mol/L e o amido a 1%. Para a solução de amido, foi posto para aquecer 50 mL de H_2O até a fervura, pesado 1 g de amido que foi solubilizado em outros 50 mL de H_2O , mas, dessa vez em temperatura ambiente, e posteriormente a solução ambiente foi vertida na solução fervida. Já para a padronização do dicromato de potássio, foi utilizado 0,295g, valor já arredondado, para a preparação de 100mL de solução.

Além disso, durante a fase de teste dos reagentes, o iodeto de potássio a 10% foi esgotado, portanto, foi necessária uma nova padronização, utilizando 20g de iodeto de potássio

para uma preparação de 100 mL. A descrição do doseamento diz que tal reagente deve estar presente na concentração de 20%, onde será retirado 5 mL para uso nos testes, no entanto, como foi realizada a checagem da integridade dos reagentes, foi utilizado o iodeto de potássio 10%, no volume de 10 mL. Sendo assim, uma vez padronizado o iodeto 20%, foram necessários apenas os 5 mL já descritos no método de doseamento.

Além desses três reagentes, estavam envolvidos também 1 mL de HCl, para deixar o meio propício à oxidação do etanol e também tiosulfato de sódio diluído (0,0389 mol/L) como reagente titulante.

3.3.11 TEOR ALCÓOLICO

A partir do mosto fermentado, também chamado de vinho, foi realizado a dosagem de teor alcóolico pelo método de titulação através da utilização de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, que é empregado em reações de oxidação alcóolica.^{20 22}

Para que a dosagem fosse realizada, foram necessários 0,5 mL da solução pós fermentada, 1 mL de solução nitrocromica de dicromato de potássio (0,001 mol/L) e 1 mL de HCl sendo que tais compostos ficaram em temperatura ambiente por 5 a 10 minutos.^{20 21} Nessa etapa ocorre a reação de oxidação do etanol pelo dicromato, que tem como produto o ácido acético (CH_3COH), onde o processo irá ter sua cor alterada para verde.^{19 20 21}



Durante esse tempo em temperatura ambiente, o restante do dicromato de potássio que não foi utilizado nesse processo irá oxidar uma solução de iodeto de potássio (KI). Sendo assim, adiciona-se 12,5 mL de H_2O , juntamente com 5 mL de iodeto potássio (20%), para que o iodo que foi liberado nessa reação será titulado²⁰ e por fim cerca de 1 mL de amido 1%, como marcador, para que ocorra a reação colorimétrica.

Para a titulação desse iodo, foi utilizado tiosulfato de sódio diluído (0,03891 mol/L), que age como redutor do iodo presente na amostra²⁰ e na presença de goma de amido 1%, como indicador, o objetivo é observar a mudança de cor de azul intenso para incolor ao final da titulação.

Em relação aos cálculos, eles foram feitos através da equivalência de 0,115 mg de etanol a 1 mL de tiosulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) a 0,01 mol/L.

4. RESULTADOS

Nessa etapa, é importante mostrar que foram obtidos dois tipos de resultados distintos, sendo eles a quantidade, em mL, de álcool destilado e também os respectivos valores de teor alcóolico para cada uma das amostras.

4.1 RESULTADOS DA DESTILAÇÃO

Em relação a destilação, ambas as amostras mostraram presença de álcool em seu resultado final. A respeito das fazendas, das duas utilizadas, cada uma apresentou um resultado diferente em relação a produção final de álcool em 1 L de cana-de-açúcar.

Primeiramente, a fazenda 17, cuja a cana pertencente a ela possui a subespécie SP80-1816, produziu um total de etanol de 42 mL a partir de 1 L de mosto fermentado, onde durante a destilação a temperatura do meio foi mantida entre 77 à 85°C, sem intercorrências durante o processo.

No entanto, já a fazenda 74, cuja a subespécie pertencente a ela é a SP80-3280, produziu um total de 156 mL de álcool, porém, durante o processo, foi evidenciado um problema no termostato da mufla, sendo que o mesmo estava desregulando a temperatura do sistema onde apresentava valores de 70 a 95°C, dessa forma, a H₂O foi destilada junto ao etanol, por isso apresentando tamanha discrepância de volume.

4.2 RESULTADOS DO TEOR ALCÓOLICO

Em relação aos resultados de teor alcóolico, os cálculos foram baseados na equivalência de 0,115 mg de etanol a 1mL de tiosulfato de sódio (Na₂S₂O₃) a 0,01 mol/L, dessa forma, após a titulação, o volume gasto foi utilizado referente à quantidade total de etanol produzido.

Primeiramente, o cálculo prévio realizado foi:

Tiosulfato 0,01 mol/L ----- 0,115 mg Etanol

0,03891 mol/L ----- X

X = 0,447 mg de Etanol

A partir desse cálculo, foram feitos os demais cálculos para ambas as fazendas, sabendo que a fazenda 17 (SP80-1816) gastou um total de 6,8 mL de tiosulfato e a fazenda 74 (SP80-3280), a que possui H₂O destilada juntamente com o álcool, um total de 2,6 mL.

Portanto, segue os cálculos respectivos da fazenda 17 e 74:

- Fazenda 17:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mL Tiosulfato} \text{ ----- } 0,447 \text{ mg} \\ 6,8 \text{ mL} \text{ ----- } X \\ X = 3,04 \text{ mg Etanol} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 3,04 \text{ mg Etanol} \text{ ----- } 0,5 \text{ mL} \\ X \text{ ----- } 42 \text{ mL} \\ X = 255,36 \text{ mg de Etanol} \end{array}$$

Portanto, a fazenda 17, em 1 L de caldo de cana-de-açúcar, possui um teor alcóólico de 255,36 mg de etanol.

- Fazenda 74:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mL Tiosulfato} \text{ ----- } 0,447 \text{ mg} \\ 2,6 \text{ mL} \text{ ----- } X \\ X = 1,16 \text{ mg Etanol} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1,16 \text{ mg Etanol} \text{ ----- } 0,5 \text{ mL} \\ X \text{ ----- } 156 \text{ mL} \\ X = 362,60 \text{ mg de Etanol} \end{array}$$

Portanto, a fazenda 74, em 1 L de caldo de cana-de-açúcar, possui um teor alcóólico de 362,60 mg de etanol.

É importante ressaltar que como a fazenda 74 houve uma discrepância de resultados oriundo de um defeito no equipamento, supondo que ao invés de 156 mL, fosse capaz de extrair os mesmos 42 mL, igual a 1ª amostra, o teor alcóólico da fazenda 74 passaria a ser de 97,44 mg de etanol.

5. DISCUSSÃO

A partir dos testes realizados, os resultados obtidos apresentam alguma discrepância em decorrência de alguns fatores.

Primeiramente, o caldo de cana possui inúmeros interferentes que, na usina, são traduzidos como impurezas, que podem variar de insetos, pragas e até mesmo outros compostos utilizados nas fazendas a fim de melhorar o cultivo da cana-de-açúcar como um todo. Além de cada fazenda possuir seu método de cultivo, outro fator determinante para essa diferença é a subespécie das canas, onde certamente ocorre uma pequena diferença de rendimento visto que cada uma das subespécies possuem níveis biotecnológicos de modificações diferentes além de apresentarem uma pequena diferença de açúcares presentes em seus colmos, impactando diretamente a fermentação e o rendimento final.

Em segundo, além das condições da cana-de-açúcar na usina, ambos os caldos sofreram diferentes estresses ao longo da produção que também podem ter contribuído para a diferença de rendimento encontrada. Um desses estresses são evidenciados no armazenamento da matéria prima, visto que, as mesmas foram congeladas antes de serem esterilizadas, descongeladas, esterilizadas e só então tornaram ao congelamento, dessa forma, como a cana-de-açúcar possui seus próprios agentes fermentadores, tais agentes já podem ter iniciado o processo de fermentação antes do tempo programado contribuindo para a diminuição do volume final de etanol produzido.

Contudo, mesmo que a destilação do etanol tenha sido realizada de maneira adequada para a fazenda 17, o mesmo não pode ser dito em relação a fazenda 74, onde o defeito no termostato da mufla estava elevando muito a temperatura do sistema, fazendo com que H₂O fosse destilada juntamente com o etanol. Ainda assim, levando em conta a equivalência de volumes em 42 mL, é correto afirmar que a fazenda de fazenda 17 (SP80-1816) possui um maior teor alcóolico do que o etanol produzido pela fazenda 74 (SP80-3280), já que os valores de teor seriam de 255,36 mg de etanol e 97,44 mg de etanol, respectivamente.

Mesmo que um dos volumes obtidos tenha dado um valor muito discrepante, a correção desse volume poderia ser feita através da redestilação da amostra de 156 mL, fazenda 74, com um termostato adequadamente regulado para que não houvesse a extração de outros compostos presentes no sistema além do etanol.

6. CONCLUSÃO

Após a realização das dosagens de teor alcóolico, a partir de ambos os caldos obtidos na usina, ficou claro que independente do volume final obtido, ambas as amostras possuíam álcool em sua composição. Concluiu-se que a subespécie SP80-1816 apresentou um rendimento de 255,36 mg de etanol em 1 L de caldo fermentado e a subespécie SP80-3280, apresentou um teor de 97,44 mg de etanol em 1 L de caldo fermentado. Sendo assim, fica evidenciado que a subespécie SP80-1816, apresentou maior rendimento na produção de etanol em relação à subespécie SP80-3280.

REFERÊNCIAS

1. LITOMEN, Luciana. **Avaliação do Processo de Extração Líquido-Líquido para Recuperação e Purificação do Ácido Cítrico**. Disponível em:
<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267280/1/Lintomen_Luciana_M.pdf>
Acesso em: 25/02/19
2. CHIEPPE, João Baptista Júnior. **Tecnologia e Fabricação do Alcool**. Disponível em:
<http://redeotec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prd_industr/tec_acucar_alcool/16101_2_tec_fabric_alc.pdf> Acesso em: 25/02/19
3. Escola de Química – UFRJ. **Produção de Etanol**. Disponível em:
<http://www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/Microbiol/eqb353_aula_12.pdf> Acesso em: 25/02/19
4. MENEGETTI, Claudio Cezar et al. **Processos de Produção de Alcool Etílico de Cana-de-açúcar**. Disponível em:
<http://www.fecilcam.br/anais/iv_eepa/data/uploads/9-engenharia-da-sustentabilidade/9-07-com-autores.pdf> Acesso em: 06/06/19
5. FILHO, José Manuel Moura et al. **Determinação do Solvente Ótimo para Extração dos Compostos Fenólicos do Fruto de Buriti**. Disponível em:
<<https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/viewFile/3992/pdf>> Acesso em: 25/02/19
6. MONOCHIO, Carolina. **Produção de Bioetanol de Cana-de-açúcar, Milho e Beterraba - Uma comparação dos Indicadores Tecnológicos**. Disponível em:
<https://www.unifal-mg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2014_1/Carolina%20Manochio.pdf>
> Acesso em: 27/02/19
7. BOAS, Brígida Monteiro Vilas et al. **Seleção de Extratores e Tempo de Extração para Determinação de Açúcares em Café Torrado**. Disponível em:
<<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4Ai9muEsPqgJ:www.editora.ufla.br/index.php/component/phocadownload/category/43-volume-25-numero-5%3Fdownload%3D744:vol25numero5+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>> Acesso em: 25/02/19
8. MARTINS, Rhodiney Vaz. **Etanol da Beterraba**. Disponível em:
http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170531134652.pdf > Acesso em: 27/02/19
9. Conselho de Informação sobre Biotecnologia. **Guia da cana-de-açúcar**. Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3389774/mod_resource/content/0/guia_cana.pdf>
<f> Acesso em: 06/06/19
10. Petrobras. Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Disponível em:
<<http://www.br.com.br/wcm/connect/6fad4419-69ca-47f1-aabb-b507d1980d19/fispq-comb-etanol-etanol-hidratado-combustivel-ehc.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mbu->

21. CORDEBARD, H. Determinação de Etanol em Sangue por Titulação. Disponível em:
<<https://www.unifal-mg.edu.br/latf/wp-content/uploads/sites/77/2019/03/Aula-12-Determina%C3%A7%C3%A3o-de-etanol-em-sangue-por-titula%C3%A7%C3%A3o.pdf>> Acesso em: 25/11/19
22. TOMÉ, Brunno Conrado Bertolucci. Ensaios colorimétricos para detecção de etanol em amostras de uísque utilizando dispositivos poliméricos. Disponível em:
<<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/8441/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Brunno%20Conrado%20Bertolucci%20Tom%c3%a9%20-%202018.pdf>> Acesso em: 25/11/19