

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE AÇÚCARES REDUTORES E AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS EM BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

CAMILA BERNAR BALISTERI

Orientador: João Roberto da Silva

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia
de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de
Tecnólogo em Biocombustíveis.**

**Jaboticabal – SP
2º Semestre/2012**

Balisteri, Camila Bernar

B186c Comparação das concentrações de açúcares redutores e açúcares redutores totais em bagaço de cana-de-açúcar / Camila Bernar Balisteri.— Jaboticabal: Fatec, 2012.
40f.

Orientador: Prof. João Roberto da Silva

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2012.

1. Cachaça. 2. Subproduto. 3 Reaproveitamento. I. Silva, João Roberto.
II. Título.

CDU 664.111

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE AÇÚCARES REDUTORES E AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS EM BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: CAMILA BERNAR BALISTERI

ORIENTADOR: PROF. JOÃO ROBERTO DA SILVA

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à FATEC-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

JOÃO ROBERTO DA SILVA

MARIANA CARINA FRIGIERI SALARO

RITA DE CÁSSIA VIERA MACRI

Data da apresentação: 21 de dezembro de 2012.

Presidente da Comissão Examinadora

Dedico a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar por me dar forças para nunca desistir.

Agradeço meus pais, Ailton e Elisabete por tudo que fizeram por mim durante esses anos e a vida inteira. Ao meu irmão Diogo que ajudou em todos os momentos e também deu a mim muito apoio.

A República Êta-Nóis por me oferecer grandes amizades e assim poder compartilhar momentos de alegrias e tristezas, que jamais poderei esquecer. As minhas atuais companheiras de apartamento pela serenidade e solidariedade. As minhas amigas Ana Paula (Tica), Soraia, Priscila, Natália (Tititi-k), pela força e parceria.

Ao meu orientador Professor João Roberto da Silva pelo tempo de dedicação e paciência comigo. A Professora Viviane pela ajuda e explicação na execução dos cálculos.

A FATEC Jaboticabal pela disponibilidade de laboratórios para elaboração de minhas análises.

Ao “Bedim”, produtor que me forneceu o bagaço necessário para elaboração deste trabalho e novos aprendizados.

RESUMO

COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE AÇÚCARES REDUTORES E AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS EM BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma planta perene e semitropical, é na sua maturidade que pode-se encontrar altos teores de açúcares. Na produção de aguardente e de cachaça, um dos subprodutos obtidos pela extração do caldo através de moendas é o bagaço que, geralmente é queimado para produzir energia térmica, tanto nas agroindústrias como nos engenhos. No bagaço ainda resta uma determinada quantidade de açúcares simples, aos quais podem de alguma maneira serem aproveitados. O presente trabalho preocupou-se em triturar o bagaço e verificar se ainda restava uma quantidade significativa a ser extraída. Os resultados obtidos demonstram que do bagaço ainda pode ser extraído mais açúcares.

Palavras-chave: Cachaça. Subproduto. Reaproveitamento.

ABSTRACT

COMPARISON OF CONCENTRATIONS OF REDUCING SUGARS AND REDUCING SUGAR IN TOTAL BAGASSE SUGAR CANE

The sugar cane is a perennial and semitropical, is in its maturity where one can find high amounts of sugars. In the production of brandy and rum, one of the byproducts obtained by extracting the juice by milling is bagasse which is typically burned to produce thermal energy, both in agricultural industry as the plantations. In bagasse remains a certain amount of simple sugars, to which may somehow be utilized. This work was concerned to grind the crushed and verify that there was still a significant amount to be extracted. The results demonstrate that the bagasse can still be extracted more sugars.

Keywords: *Cachaça. Byproduct. Reuse(bagasse).*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Representação da cadeia linear da celulose, formada de várias unidades consecutivas de celobiose (SILVA, 2010).	18
FIGURA 2- Monossacarídeos constituintes das hemiceluloses. D-glicose (1), D-galactose (2), L-arabinose (3), D-xilose (4), D-manose (5), 4- <i>O</i> -metil-D-glucurônico (6), L-ramnose (7) (SILVA, 2010).	19
FIGURA 3- Representação esquemática de uma xilana de gramínea. (1) 1,4-D-xilopirranose; (2) L-arabinose; (3) ácido 4- <i>O</i> -D-metil- α -D-glucurônico; (4) grupo acetil (SILVA, 2010)....	20
FIGURA 4 - Estrutura molecular da lignina (SILVA, 2010).	21
FIGURA 5 - Fluxograma da fabricação de cachaça (SAKAI, 2010).	23
FIGURA 6 - Relação de oxidação da carbonila pelo reagente DNS (SCHMIDT, 2010).	24
FIGURA 7 - Radiação de luminosa (SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2010).	25
FIGURA 8 - Equação da Lei de Beer-Lambert	26
FIGURA 9 – a) 10 mg de bagaço úmido não triturado e úmido triturado; b) caldo filtrado de bagaço úmido não triturado e úmido triturado.	29
FIGURA 10 - a) tubos de ensaio contendo a solução de bagaço triturado e não triturado e DNS antes do banho-Maria de 100°C; b) tubos de ensaio contendo a solução de bagaço triturado e não triturado e DNS depois do banho-maria de 100°C.	30
FIGURA 11 - a) tubos de ensaio contendo a solução de bagaço triturado e não triturado, NaOH e DNS antes do banho-Maria de 100°C; b) tubos de ensaio contendo a solução de bagaço triturado e não triturado, NaOH e DNS depois do banho-maria de 100°C.	31
FIGURA 12 – Aceitação e Rejeição H_0	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Composição média característica do bagaço da cana-de-açúcar.....	17
TABELA 2 - Amostras para obtenção do gráfico de curva padrão.....	29
TABELA 3 – Absorbâncias obtidas para cada concentração da solução padrão de glicose....	32
TABELA 4 - Açúcares redutores em g/L e percentual em função da absorbância.....	33
TABELA 5 – Açúcares redutores totais em g/L e percentual em função da absorbância.	34
TABELA 6 - Média e desvio-padrão de amostras de bagaços triturados e não triturados de análise de açúcares redutores.....	34
TABELA 7 - Média e desvio-padrão de amostras de bagaços triturados e não triturados de análise de açúcares redutores totais.....	35
TABELA 8 - Estatística de teste para dados emparelhados.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO	13
3 REVISÃO	14
3.1 Cultura da cana-de- açúcar.....	14
3.2 Resíduos da cana de açúcar	15
3.2.1 Bagaço.....	15
3.2.1.1 Celulose.....	17
3.2.1.2 Hemicelulose	18
3.2.1.3 Lignina	20
3.3 Aguardente.....	21
3.4 Método de DNS	24
3.4.1 Espectrofotometria.....	25
3.5 Determinação de açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART).....	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Material.....	28
4.2 Metodologia	28
4.2.1 Determinação de açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART).....	28
4.2.2 Confecção da curva padrão de glicose.....	29
5 RESULTADOS	30
5.1 Açúcares Redutores (AR)	30
5.2 Açúcares Redutores Totais (ART).....	30
5.3 Estatística de teste para dados emparelhados.....	31
6 CONCLUSÃO	37

7 RECOMENDAÇÕES	38
REFERENCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma planta tropical que se desenvolve bem em regiões com clima quente (temperaturas mínimas de 20°C), tendo seu cultivo concentrado em áreas subtropicais entre 15° e 30°-35° de latitude norte e sul, com temperaturas variando de 18 a 35°C (VENTURINI FILHO, 2010).

De forma geral a planta é constituída de um sistema radicular, dos colmos, onde a sacarose é predominantemente estocada, e das folhas dispostas ao redor da cana, nos nódulos inter colmos e também na parte superior da planta onde se localiza a gema apical (palmito). A parte morfológica da cana-de-açúcar de interesse comercial é o colmo, que possui sacarose industrializável. A composição química dos colmos é extremamente variável em função de diversos fatores como: variedade da cultura; idade fisiológica; condições climáticas durante o desenvolvimento e maturação; propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo; tipo de cultivo entre outros (ALVES *et al.*, 2005).

De acordo com a literatura, a produção da aguardente teve início no período de 1538-1545, quando se observou que a borra separada do processo de concentração da garapa, visando a cristalização do açúcar, para a produção dos pães de açúcar, colocada em recipiente e deixada de um dia para outro, fermentava espontaneamente produzindo um líquido com cheiro e sabor diferente. Esse vinho, segundo Venturini Filho (2010, p.237), era submetido a destilação, em pequenos alambiques de barro, resultava em líquido transparente, brilhante e ardente se ingerido (VENTURINI FILHO, 2010).

A cachaça foi um dos produtos identificados e priorizados para ter sua conformidade avaliada no Plano de Ação 2004/2007, do Programa Brasileiro de Avaliação da Conformidade (PABC). Considerando-se os resultados obtidos por estudos que objetivaram analisar e comparar aguardente de cana e cachaça, que são produtos similares, segundo a legislação, porém distintos, houve grande motivação para estudar esta bebida, visando defender o consumidor de eventuais contaminantes e proporcionar limites mínimos para os mesmos que pudessem garantir a aceitação do produto nos diversos mercados mundiais (VENTURINI FILHO, 2010).

Segundo dados da Unica, o volume de etanol comercializado pelas unidades produtoras da região Centro-Sul entre abril e dezembro de 2012 somou 16,84 bilhões de litros -7,06 bilhões de litros de etanol anidro e 9,78 bilhões de litros de etanol hidratado--,

alta de 4,05% comparativamente a igual período do ano anterior. Deste total, 2,88 bilhões de litros destinaram-se à exportação e 13,95 bilhões de litros ao mercado interno. As vendas domésticas de etanol hidratado alcançaram 1,03 bilhão de litros em dezembro, crescimento de 22,27% em relação ao mesmo mês de 2011. Mas, apesar desta expansão já observada nos meses precedentes, no acumulado desde abril o volume comercializado (8,75 bilhões litros) permanece abaixo daquele registrado no mesmo período de 2011 (9,01 bilhões de litros). No que se refere às vendas de etanol anidro ao mercado interno, estas atingiram 605,78 milhões de litros em dezembro de 2012, ante 571,25 milhões de litros comercializados no mesmo mês de 2011. No acumulado de abril a dezembro de 2012, as vendas de anidro internamente totalizaram 5,20 bilhões de litros (BORLINA FILHO, 2013).

A partir da biomassa da cana-de-açúcar, quando se faz o processo de hidrólise, ou seja, quando se quebra o bagaço, vai se gerar, basicamente, pentose, hexose e lignina. A lignina é aquilo que dá a estrutura dura ao bagaço, é o agente de adesão das pentoses e das hexoses. A hexose pode ser fermentada normalmente, ela é um açúcar, não é preciso fazer só o etanol. E da pentose também pode se fazer outros produtos químicos: por exemplo, vários ácidos orgânicos a partir da fermentação do açúcar, butanol, que é outro álcool, polímeros, aldeído... Ácidos orgânicos e polímeros talvez sejam os melhores exemplos (GLOBO UNIVERSIDADE, 2012).

Esse bagaço é em grande parte utilizado como combustível na geração de calor para as usinas. Entretanto, a viabilização de novas tecnologias de utilização da biomassa poderá desviar parte desse bagaço para a produção de materiais de maior valor econômico. Portanto, é importante fomentar a demonstração das vantagens existentes e encorajar o investimento no desenvolvimento de novas tecnologias para obter ganho energético a partir de recursos renováveis, que são produzidos em grande quantidade no país (RAMOS, 2000).

De acordo com Avansi (2011, p.12):

O bagaço proveniente da extração do caldo da cana-de-açúcar é o maior subproduto produzido pela industrialização da cultura e também possui diversas aplicações que poderão ser muito rentáveis aos empresários do ramo. A forma de obtenção desse bagaço se dá através da extração do caldo por moendas ou difusores, sendo o mais comum por moendas. O bagaço extraído através de difusores pode apresentar algumas complicações em uma possível queima, uma vez que ele é mais úmido do que o bagaço extraído por moendas devido à grande embebição sofrida nos difusores.

O monitoramento de açúcares redutores totais (ART) é de grande importância para controle industrial da fabricação de açúcar e álcool, principalmente no que se refere a

melhoria da eficiência do processo industrial, ao pagamento de cana-de-açúcar em função do teor de sacarose, e à avaliação do estado de maturação da cana. ART é então determinado espectrofotometricamente pela diminuição da absorbância (ALVES *et al.*, 2005).

A determinação de ART através do 3,5-dinitrosalicilato (DNS) é um método usado na quantificação de açúcares redutores. O produto formado é de coloração laranja-avermelhado (3-amino 5-nitro salicilato) na medida estequiométrica e máxima absorção da luz no comprimento de onda de 540 nm.

2 OBJETIVO

Esse trabalho teve como objetivo comparar a diferença significativa de açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART) em amostras de bagaço de cana-de-açúcar triturados e não triturados produzido em alambique.

3 REVISÃO

3.1 Cultura da cana-de- açúcar

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), como planta semi-tropical em todo o curso do ano. Nesse aspecto, difere das cultura anuais, de ciclo curto, como as de arroz algodão, trigo, batata etc., que são influenciadas apenas pelas características climática de limitados períodos do ano. As exigências climáticas da lavoura canavieira podem diferir bastante segundo a finalidade: açúcar de usina, aguardente ou forragem (ZONEAMENTO..., 1974).

Existem duas épocas de plantio para a região Centro-Sul: setembro-outubro e janeiro a março. Setembro-outubro não é a época mais recomendada, sendo indicada em casos de necessidade urgente de matéria prima, quer por recente instalação ou ampliação do setor industrial, quer por comprometimento de safra devido à ocorrência de adversidade climática. Plantios efetuados nessa época propiciam menor produtividade agrícola e expõem a lavoura à maior incidência de ervas daninhas, pragas, assoreamento dos sulcos e retardam a próxima colheita. O plantio da cana de "ano e meio" é feito de janeiro a março, sendo o mais recomendado tecnicamente. Além de não apresentar os inconvenientes da outra época, permite um melhor aproveitamento do terreno com plantio de outras culturas. Em regiões quentes, como o oeste do Estado de São Paulo, essa época pode ser estendida para os meses subseqüentes, desde que haja umidade suficiente (BORGES *et al.*, 2009).

As diferentes variedades de cana-de-açúcar disponíveis no mercado atingem a sua maturidade dentro dos meses de maio a junho, de julho a agosto e de setembro a novembro, podendo ser classificadas em “precoces”, “médias” e “tardias”, respectivamente.

É na maturidade que se verifica os teores mais elevados de açúcar. O teor de açúcar é medido em Graus Brix, que é equivalente à porcentagem de sólidos solúveis contidos no caldo.

3.2 Resíduos da cana de açúcar

A cana-de-açúcar é a cultura que mais gera resíduos no país. Segundo levantamento do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2009, os engenhos produziram 201 milhões de toneladas em torta de filtro e bagaço. No processamento da planta, o montante ganha o reforço de mais de 604 milhões de metros cúbicos de vinhaça, um subproduto considerado cem vezes mais poluente do que o esgoto doméstico. Cada litro de álcool pode resultar em até 18 litros de vinhaça (MORAES, 2012).

3.2.1 Bagaço

O bagaço é um subproduto fibroso, processado na moagem da fibra da cana, suas características dependem de fatores como o sistema de colheita (mecanizado ou manual), resultando na cana picada um maior teor de fibra e impurezas vegetais e cana inteira apresenta maior porcentagem de impurezas minerais, a limpeza feita para retirar essas impurezas afetam na composição da matéria-prima. Variedades diferentes, tipo de plantio e clima também podem afetar a composição do bagaço. Em geral, sua composição contém em torno de 50% de umidade, 2,5% de sólidos solúveis e 47,5% de fibra, o bagaço resultante da moenda é em grande quantidade, cada tonelada de cana na moenda gera em torno de 280 kg de bagaço (FERREIRA, 2011).

Entre os diferentes tipos de biomassas lignocelulósicas, a palha de cana-de-açúcar se destaca como fonte energética. A palha apresenta grande potencial para geração de calor, eletricidade e produção de etanol celulósico. O aproveitamento da palha deverá ocupar um lugar de destaque como matéria-prima para a produção de etanol combustível. De acordo com Ripoli, uma tonelada de palha equivale a algo entre 1,2 a 2,8 EBP (equivalentes barris de petróleo). Consequentemente, a não utilização dessa biomassa desperdício energético. A tecnologia de conversão de biomassa lignocelulósica em açúcares fermentáveis para a

produção de etanol vem sendo considerada como uma alternativa promissora para atender à demanda mundial por combustíveis. Apesar de já existirem tecnologias disponíveis para o processamento da celulose, a maioria esbarra em dificuldades técnicas ou econômicas. Nesse sentido, um dos principais gargalos que envolvem a produção de etanol celulósico é "desmontar" a parede celular liberando os polissacarídeos como fonte de açúcares fermentescíveis de forma eficiente e economicamente viável.

Santos *et al.* (2012) ainda afirma que:

Os açúcares presentes na palha de cana-de-açúcar encontram-se na forma de polímeros (celulose e hemicelulose) e são recobertos por uma macromolécula (lignina), formando a microfibrila celulósica. Devido à sua interação intermolecular e completa ausência de água na estrutura da microfibrila, a celulose apresenta estrutura bastante recalcitrante difícil de ser desestruturada e convertida em monossacarídeos fermentescíveis.

Por esse motivo, o rendimento líquido da conversão da celulose em glicose livre e, a seguir, em etanol é desfavorável, com as tecnologias disponíveis. Tornar os rendimentos favoráveis possibilitará o melhor aproveitamento dessa rica matéria-prima natural encontrada na palha de cana-de-açúcar, atualmente desperdiçada ou utilizada de forma menos nobre.

Neste contexto, Santos *et al.* (2012, p. 1006) cita que o objetivo do trabalho foi fazer uma revisão sobre a estrutura recalcitrante da palha de cana-de-açúcar e o seu potencial uso na produção de etanol celulósico.

A composição química do bagaço varia de acordo com diversos fatores, dentre eles, o tipo de cana, o tipo de solo, as técnicas de colheita e até o manuseio. A tabela abaixo mostra a composição média característica do bagaço de cana-de-açúcar, em que a fibra é a matéria seca e insolúvel em água e o Brix mede os sólidos solúveis em água (CASTRO *et al.*, 2008).

TABELA 1 - Composição média característica do bagaço da cana-de-açúcar.

Composição química média	
Carbono	39,7 – 49%
Oxigênio	40 – 46%
Hidrogênio	5,5 – 7,4%
Nitrogênio e cinzas	0 – 0,3%
Propriedades Físico-químicas	
Umidade	50%
Fibra	46%
Brix	2%
Impurezas minerais	2%
Composição média da fibra de bagaço	
Celulose	26,6 – 54,3%
Hemicelulose	14,3 – 24,4%
Lignina	22,7 – 29,7%

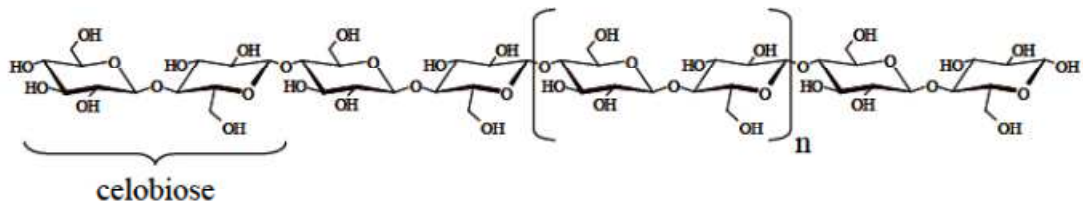
(CASTRO, 2008)

3.2.1.1 Celulose

A celulose é um homopolissacarídeo linear que consiste em unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas do tipo β (1 \rightarrow 4) cujo tamanho é determinado pelo grau de polimerização (DP) que varia de 100 a 2000 DP (SILVA, 2010).

A figura representa a cadeia linear da celulose, formada de várias unidades consecutivas de celobiose. As cadeias de celulose formam as fibrilas elementares, caracterizadas por duas regiões distintas, a cristalina, de configuração mais ordenada formada por cadeias de celulose unidas por ligações de hidrogênio e força de Van der Waal's, e a amorfa, menos ordenada é mais susceptível a hidrólise (SILVA, 2010).

FIGURA 1 - Representação da cadeia linear da celulose, formada de várias unidades consecutivas de celobiose (SILVA, 2010).

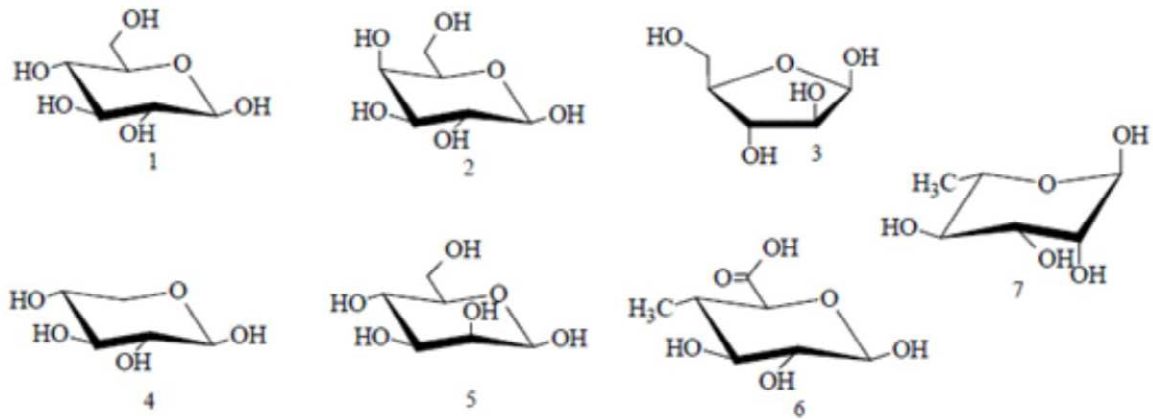


As longas cadeias de glicose, combinadas a formar microfibrilas com diâmetro entre 4-10 nm em eletromicrofibrilas tornam a celulose resistente, O conjunto de microfibrilas, aos quais são organizadas em lamelas para formar e estrutura fibrosa das várias camadas da parede celular vegetal. As microfibrilas de celulose são revestidas com hemicelulose e embebidas em lignina, formando os materiais lignocelulósicos (SILVA, 2010).

3.2.1.2 Hemicelulose

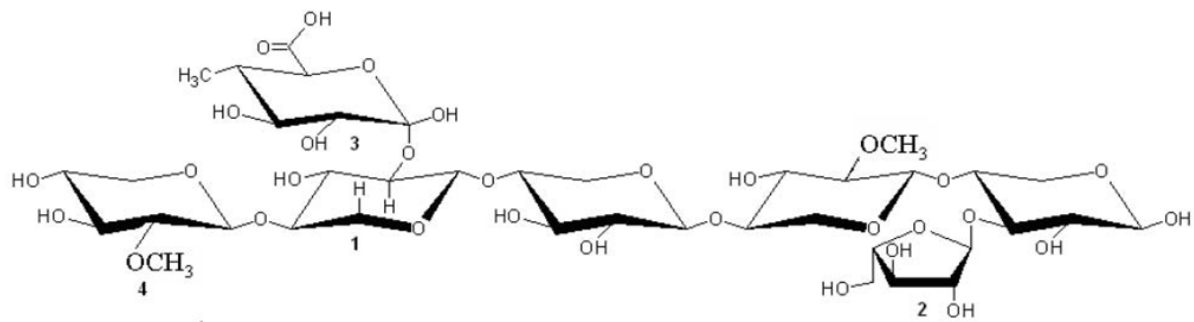
A hemicelulose tem como principal elemento a xilose é um heteropolissarídeo formado por pentoses (xilose, ramnose e pentose) hexoses (glicose, manose e galactose) e ácidos urônicos (ácidos-4-O-metil-glucurônico e galacturônico). Segundo Silva (2010) a xilose constitui o maior componente de hemicelulose, fazendo parte de um complexo de carboidratos poliméricos incluindo xilana (principal componente da hemicelulose, cuja estrutura corresponde a um polímero de D-xilose unidas por ligações β-1,4).

FIGURA 2- Monossacarídeos constituintes das hemiceluloses. D-glicose (1), D-galactose (2), L-arabinose (3), D-xilose (4), D-manose (5), 4-*O*-metil-D-glucurônico (6), L-ramnose (7) (SILVA, 2010).



Esse tipo de xilana também oferece aceitação ao longo da moléculas, A arabinoxilana é ligada a estrutura da xilana via ligação α -1,2 ou α -1,3, ambas como resíduos simples ou cadeias laterais curtas. Estas cadeias laterais também podem conter xilose ligadas por ligações β -1,2 a arabinose e galactose, que podem ser unidas por ligações β -1,5 a arabinose ou β -1,4 a xilose. Os resíduos acetil são conectados a O-2 ou O-3 na xilose da estrutura de xilana, mas o grau de aceitação difere grandemente entre as xilanas de diferentes origens. O ácido glucurônico e o 4-*O*-metil-éter são conectados a estrutura da xilana via ligação α -1,2, enquanto os resíduos aromáticos (ferruloil e pcoumaril) foram descritos como sendo conectados somente a O-5 de resíduos arabinose terminais. O ácido ferrúlico também pode estar ligado às frações de hemicelulose e pectina e estes polissacarídeos são capazes de fazer ligações-cruzadas uns com outros, assim como, com compostos aromáticos poliméricos da lignina. A figura é uma representação esquemática da hemicelulose. Esta estrutura de ligações-cruzadas resulta em um aumento na rigidez da parede celular (SILVA, 2010).

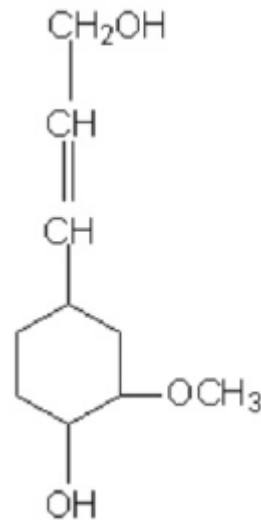
FIGURA 3- Representação esquemática de uma xilana de gramínea. (1) 1,4-D-xilopirranose; (2) L-arabinose; (3) ácido 4-O-D-metil- α -D-glucurônico; (4) grupo acetil (SILVA, 2010).



3.2.1.3 Lignina

A lignina, um dos principais componentes presente no bagaço de cana-de-açúcar é um polímero derivado de grupos fenilpropanóides, repetidos de forma irregular, que têm sua origem na polimerização desidrogenada do álcool coniferílico. Os polímeros fenilpropanóides que constituem a lignina são altamente condensados e muito resistentes à degradação. A lignina é o mais importante componente não-carboidrato da biomassa lignocelulósica. Ela é depositada na rede de carboidratos da parede celular secundária das plantas, durante o seu crescimento. Segundo Silva (2010), as ligninas são formadas a partir de três precursores básicos, que são os álcoois *p*-cumarílico, coniferílico e sinapílico. Este heteropolímero amorfo é constituído de unidades de fenilpropano (ácido coniferílico ou ferrulico, ácido sinaplílico e ácido *p*cumarílico) conectadas por diferentes ligações. A figura representa a estrutura moléculuar da lignina.

FIGURA 4 - Estrutura molecular da lignina (SILVA, 2010).



A lignina ocorre na parede celular de plantas superiores em diferentes composições: madeiras duras de 25 a 35%, madeiras macias de 18 a 25% e gramíneas de 10 a 30% sendo neste último caso responsável, em parte, pela resistência mecânica do bagaço, bem como no suporte para dispersão dos metabólicos exercidos pelas células (SILVA, 2010).

3.3 Aguardente

A aguardente de cana, vulgarmente chamada pinga ou cachaça é definida como produto alcoólico obtido pela destilação do mosto de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) fermentado. O mosto fermentado de cana de açúcar recebe a designação de vinho, podendo ser destilado em vários tipos de aparelhos; sendo assim obtida a aguardente de cana, classificada como bebida fermento-destilado. Na manufatura de bebidas alcoólicas fermento-destilado por destilação de vinhos, a operação de destilação é um dos pontos determinantes da qualidade do produto final (BOZA; HORI, 1998).

A cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38 a 48% em volume a 20°C e com características

sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até 6 g.L^{-1} . Aguardente de cana e cachaça envelhecidas podem ser adicionadas de caramelo para correção de cor. Aguardente de cana e cachaça podem conter até 30 g.L^{-1} de açúcares, e de acordo com Miranda *et al.* devem no entanto, ter sua denominação acrescida da palavra “adoçada”.

Os vinhos são constituídos de etanol, de água e de congêneres como ácidos, alcoóis, ésteres, compostos carbonilos, acetais, fenóis, hidrocarbonetos, compostos nitrogenados e sulfurados, açúcar e outros, sendo que esses presentes na bebida a caracterizam bem como a qualificam.

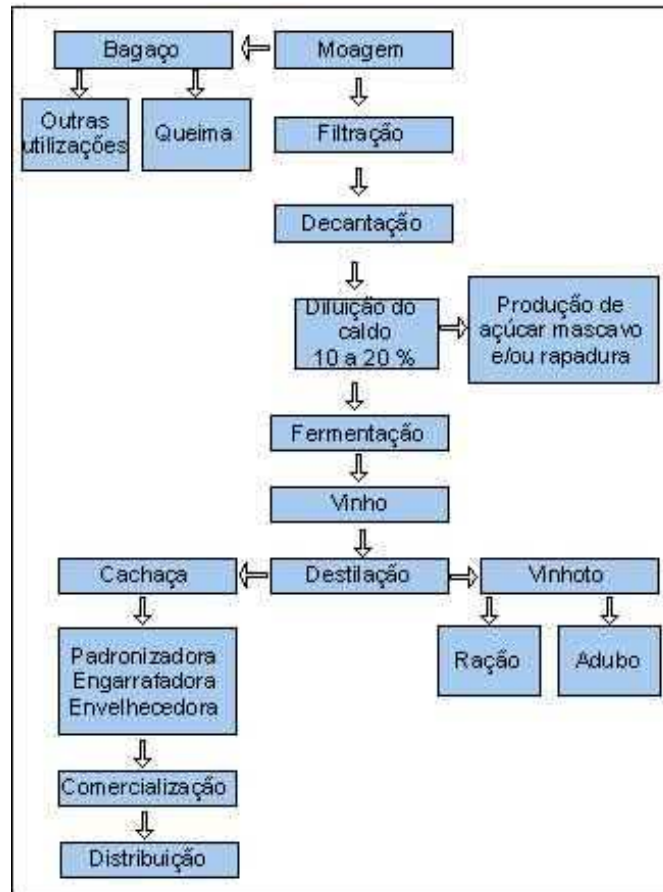
Segundo Boza e Hori (1998),

A otimização das condições da operação da destilação é fundamental na obtenção de bebida de boa qualidade, pois, a destilação além de separar, selecionar e concentrar pelo uso do calor os componentes do vinho ainda promove algumas reações químicas induzidas pelo calor. Assim os componentes voláteis do vinho podem aumentar, diminuir e ainda originar novos componentes.

O processo de fabricação da cachaça inicia-se com o corte cana, e deve ser moída em no máximo 36 horas.

O que é demonstrado na figura 5.

FIGURA 5 - Fluxograma da fabricação de cachaça (SAKAI, 2010).



A cana colhida é levada para a moenda para extração do caldo, que é filtrado e vai para a dorna de decantação com o objetivo de separar impurezas, como bagacilhos, terra e areia. A diluição do caldo é o processo em que se separa o caldo de cana para atingir o teor de sacarose entre 14 e 16 graus Brix. Isto acontece com a adição de água de boa qualidade na dorna de diluição. Ainda nesta etapa, pode-se adicionar ácido sulfúrico para evitar contaminação do caldo por bactérias que podem produzir outros compostos prejudiciais à qualidade final da cachaça (SAKAI, 2010).

Na fermentação utiliza-se a levedura *Sccharomyces cerevisae*, comumente encontrada em supermercados e padarias. Nas pequenas fábricas de cachaça, em que não existem geladeiras para guardar o fermento, é utilizado o "fermento caipira", fabricado pelo próprio produtor com um pouco da garapa misturada com fubá. Pode-se, também, utilizar outros materiais, como farelo de arroz, por exemplo (SAKAI, 2010).

Independente do fermento utilizado, esse processo deve ser concluído em

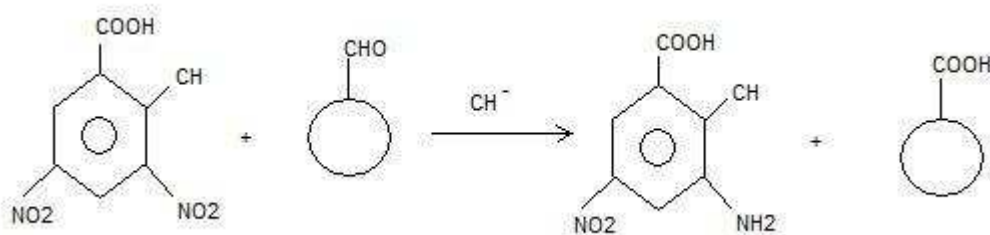
aproximadamente 24 horas. O método usual para verificar o fim da fermentação é quando o caldo começa a soltar borbulhas de forma uniforme e com cheiro agradável, com leve aroma de frutas. O fermento depositado no fundo da dorna costuma a ser reutilizado na próxima fermentação.

O vinho é retirado por gravidade das dornas de fermentação e levado diretamente para a destilação nos alambiques. Na etapa de destilação, não é aproveitado o álcool inicial (cabeça) e final (cauda). Segundo Sakai (2010), utiliza-se para a comercialização somente o álcool do meio da destilação (corpo ou coração). 80% do material destilado. Após a retirada do álcool, este é padronizado para que o teor alcoólico fique entre 38 e 54%. A partir disso, Sakai (2010) ainda decorre que, a cachaça já pode ser engarrafada ou ir para tonéis de madeira para envelhecimento. A cachaça envelhecida tem sabor e aroma mais agradáveis do que a cachaça recém-destilada, o que agrega mais valor.

3.4 Método de DNS

O método do DNS é um método onde ocorre a oxidação do grupo carbonila. O oxidante, chamado DNS utiliza o ácido dinitro-salicílico; sal de Rochelle, (solução de tártaro de sódio de potássio) que serve para prevenir o reagente da ação do oxigênio dissolvido; fenol, que é utilizado para aumentar a quantidade de cor produzida; bissulfito, que é um estabilizante da cor obtida na presença do fenol; hidróxido de sódio, que é redutor da ação da glicose sobre o ácido dinitro-salicílico. Ocorre no método do DNS a seguinte reação de oxidação:

FIGURA 6 - Reação de oxidação da carbonila pelo reagente DNS (SCHMIDT, 2010).



Ocorre neste caso a redução do 3,5 di-nitrosalicilato (de cor amarelo forte) ácido e a oxidação do monossacarídeo, a glicose, formando o 3-amino-5-nitro-salicilato (de cor laranja-marron forte), na proporção estequiométrica.

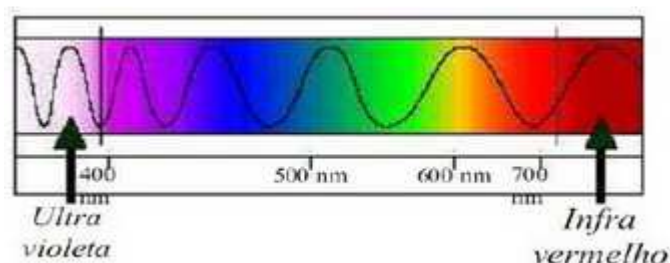
Portanto, pela determinação da luz absorvida a 540nm pelo 3-amino-5-nitrosalicilato pode-se determinar a concentração de açúcar redutor presente na solução.

Também para cada tipo de amostra deve se levantar uma curva padrão do açúcar em estudo, por exemplo, se a amostra analisada contém frutose, devemos fazer a curva padrão para a frutose, dentro de um determinado intervalo de concentração, e respeitando a Lei de Beer (BUTKE *et al.*, 2010).

3.4.1 Espectrofotometria

Os métodos espectroscópios baseiam-se na absorção e/ou emissão de radiação electromagnética por muitas moléculas, quando os seus elétrons se movimentam entre níveis energéticos. A espectrofotometria baseia-se na absorção da radiação nos comprimentos de onda entre o ultravioleta e o infravermelho. A chamada radiação luminosa corresponde a uma gama de comprimentos de onda que vai desde o ultravioleta ao infravermelho no espectro da radiação eletromagnética (SCHNEIDER, *et al.*, 2010).

FIGURA 7 - Radiação de luminosa (SCHNEIDER *et al.*, 2010).



O espectro do visível está contido essencialmente na zona entre 400 e 800 nm. Um espectrofotômetro é um aparelho que faz passar um feixe de luz monocromática através de

uma solução, e mede a quantidade de luz que foi absorvida por essa solução. Usando um prisma o aparelho separa a luz em feixes com diferentes comprimentos de onda, e pode-se fazer passar através da amostra um feixe de luz monocromática. O espectrofotômetro permite-nos saber que quantidade de luz é absorvida a cada comprimento de onda. O conjunto das absorbâncias aos vários comprimentos de onda para um composto chama-se espectro de absorção e varia de substância para substância. Se uma substância é verde, por exemplo, deixa passar ou reflete a cor nesse comprimento de onda, absorvendo mais luz na região do vermelho. Uma vez que diferentes substâncias têm diferentes padrões de absorção, a espectrofotometria permite-nos identificar substâncias com base no seu espectro. Permite também quantificá-las, uma vez que a quantidade de luz absorvida está relacionada com a concentração da substância. Schneider *et al.* (2010) conclui que a absorbância de luz é baseada em dois princípios, sendo que, o primeiro determina que a absorção de luz é tanto maior quanto mais concentrada for a solução pela atravessada, enquanto que o segundo determina que a absorção é maior quanto maior for a distância percorrida pelo feixe luminoso através das amostras. A união desses dois princípios resulta na Lei de Beer-Lambert, descrita pela equação apresentada na FIGURA 8:

FIGURA 8 - Equação da Lei de Beer-Lambert

O diagrama mostra a equação $A_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} \cdot c \cdot l$ em vermelho. Setas apontam para cada termo da equação com as seguintes legendas:

- Uma seta aponta para A_{λ} com o rótulo "absorbância (λ fixo)".
- Uma seta aponta para ϵ_{λ} com o rótulo "constante (para um λ fixo)".
- Uma seta aponta para c com o rótulo "concentração da solução absorvente".
- Uma seta aponta para l com o rótulo "distância percorrida pelo feixe luminoso através da amostra".

A absorbância da luz a cada comprimento de onda é diretamente proporcional à concentração da solução contida na cuvete. Esta linearidade deixa de ocorrer a concentrações muito elevadas da substância, podendo nesses casos diluir previamente a amostra a medir.

Com alguma frequência é necessário quantificar substâncias em misturas complexas, ou que não absorvem significativamente a luz a nenhum comprimento de onda. Nestes casos Schneider *et al.* (2010) afirmam que costuma-se utilizar os chamados métodos colorimétricos,

nos quais o composto a quantificar é posto em contato com um reagente específico, de modo a desenvolver uma cor cuja intensidade é diretamente proporcional à concentração da substância na mistura original.

3.5 Determinação de açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART)

Os métodos químicos usados para determinar carboidratos na forma de monossacarídeos e oligossacarídeos são baseados no fato de que muitos desses apresentam poder redutor (em meio alcalino e quente) sobre o cobre, a prata, o ferro e/ou outras substâncias, produzindo complexos coloridos, ou precipitados que podem ser quantificados (PAVANI, 2010).

Os monossacarídeos são carboidratos simples que não podem ser hidrolisados a açúcares de menor peso molecular. Podem ser classificadas em aldoses (poliidroxialdeídos) e cetoses (poliidroxicetonas), sendo subdivididos em trioses, tetoses, pentoses e hexoses, de acordo com o número de carbonos na cadeia. Os oligossacarídeos são polímeros compostos de resíduos de monossacarídeos unidos por ligações hemiacetálicas, neste caso denominadas ligações glicosídicas, em número que variam de duas, até, aproximadamente, dez unidades. São compostos importantes na determinação de estruturas de polissacarídeos. (apostila prática de processos bioquímicos).

Todos os monossacarídeos são redutores por possuírem grupos carbonílico e cetônico livres e o mecanismo de oxidação-redução está relacionado com a formação de um enediol, função fortemente redutora em meio alcalino, que interconverte aldoses e cetoses. A glicose em meio alcalino é rapidamente transformada no enediol, levando à formação de frutose e de manose, e este composto, conhecido como redutora, ao ser oxidado à função aldônica causa a redução dos íons cúpricos (TAVARES *et al.*, 2010).

Tavares *et al.* (2010), afirma que os carboidratos não redutores podem ser determinados pelos mesmos métodos de determinação dos açúcares redutores, desde que eles primeiro sejam hidrolisados, enzimática ou quimicamente, para se tornarem redutores.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

O material utilizado foi bagaço de cana-de-açúcar, variedade SP344, obtido no engenho Bedim, localizado na zona rural de Jaboticabal-SP.

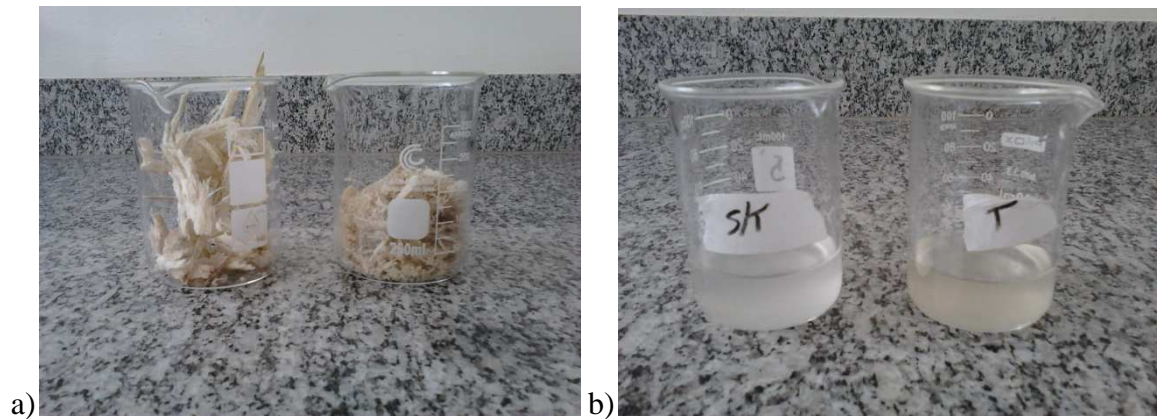
4.2 Metodologia

As amostras coletadas foram submetidas a análises de Açúcares Redutores e Açúcares Redutores Totais.

4.2.1 Tratamento das amostras

Utilizando-se da balança analítica e de um Becker, pesou-se 10 g da amostra de bagaço de cana. A esta massa adicionou-se 100 ml de água destilada e agitou-se por um tempo de 5 minutos para que se extraísse todo conteúdo de açúcares simples. Posteriormente o filtrado foi utilizado para as análises.

FIGURA 9 – a) 10 g de bagaço úmido não triturado e úmido triturado; b) caldo filtrado de bagaço úmido não triturado e úmido triturado.



4.2.2 Confeção da curva padrão de glicose

Pesou-se em um Becker de 100 ml, 360 mg de glicose. Solubilizou-se com água destilada e transferiu-se para balão volumétrico de 100 ml e completou-se com água destilada.

Em tubos de ensaio preparou-se os seguintes pontos da curva, em triplicada com exceção do “branco”:

TABELA 2 - Amostras para obtenção do gráfico de curva padrão

	Água destilada (ml)	Solução padrão (ml)
Branco	1,0	-
1	0,8	0,2 ml
2	0,6	0,4 ml
3	0,4	0,6 ml
4	0,2	0,8 ml
5	-	1,0 ml

Adicionou-se 1 ml de DNS em cada tubo, agitar e aquecer a 100 °C em banho-maria

durante 5 minutos, após, resfriou-se e acrescentou-se 13 ml de água. Tampou-se os tubos e homogeneizou-se.

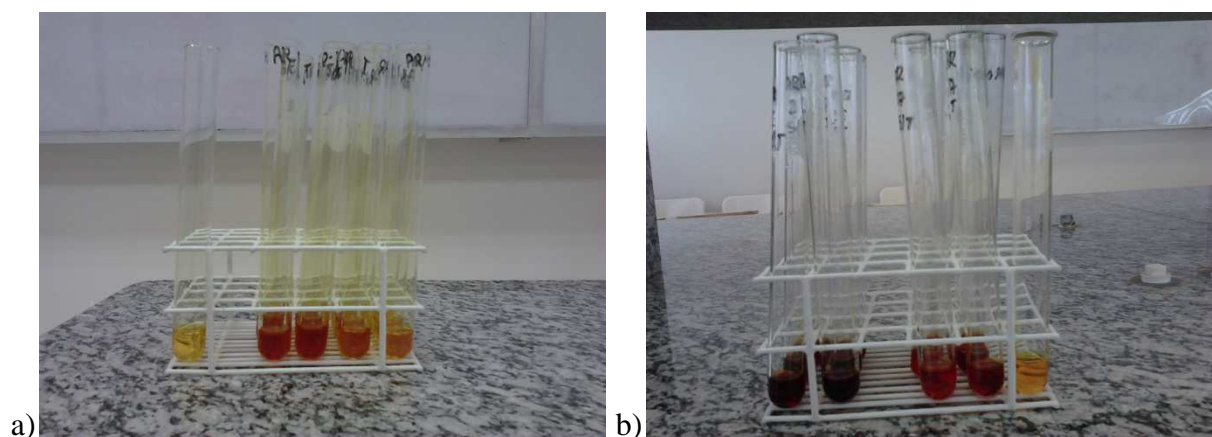
5 RESULTADOS

5.1 Açúcares Redutores (AR)

Pipetou-se 0,4 ml da amostra obtida no item acima em tubos de ensaios e adicionou-se 1 ml de DNS em cada tubo, levou-se a 100°C por 5 minutos;

Resfriou-se e acrescentou-se 13 ml de água destilada, tampou-se os tubos homogeneizou-se. Em seguida realizou-se leitura de absorvância a 540 nm em um espectrofotômetro.

FIGURA 10 - a) tubos de ensaio contendo a solução problema tratada com DNS antes do aquecimento; b) tubos de ensaio contendo a solução problema tratada com DNS depois do aquecimento.



5.2 Açúcares Redutores Totais (ART)

Em tubos de ensaio pipetou-se 0,3 ml de água destilada, 0,2 ml de solução de ácido clorídrico concentrado e 0,5 ml das amostras obtidas. Colocou-se os tubos contendo os

açúcares para hidrólise a 60°C durante 7 minutos. Resfriou-se em banho de gelo.

Adicionou-se aos tubos 1 ml de NaOH 2,4N e 2,0 ml da solução de DNS, aqueceu-se em banho-Maria a 100°C durante 5 minutos. Resfriou-se e acrescentou-se 13 ml de água, e após, homogeneizou-se. Após este tratamento foi realizada a leitura em espectrofotômetro.

FIGURA 11 - a) tubos de ensaio contendo a solução problema tratada com NaOH e DNS antes do aquecimento; b) tubos de ensaio contendo a solução problema tratada com NaOH e DNS depois do aquecimento.



5.3 Estatística de teste para dados emparelhados

Hipóteses a serem testadas são:
$$\begin{cases} H_0: \mu_d = 0 \\ H_a: \mu_d > 0. \end{cases}$$

Onde, H_0 e H_a são as hipóteses a serem testadas, ou seja:

Quando μ_d for igual a zero, não existe diferença significativa entre o bagaço AR ou ART do bagaço triturado e não triturado; ou

Quando μ_d for maior que zero, há diferença significativa entre o bagaço AR ou ART do bagaço triturado e não triturado;

Estatística do teste para média considerando dados emparelhados:

$$t_{calc} = \frac{\bar{d} - \Delta}{S_d / \sqrt{n}}$$

Onde:

- ✓ d a média da amostra das diferenças;
- ✓ Δ o valor testado da media das diferença-as nas populações;
- ✓ S_d o desvio-padrão da mostra das diferenças;
- ✓ n o tamanho da amostra das diferenças.

$$t_{calcAR} = 2,02$$

$$t_{calcART} = 2,71$$

Nível de significância considerado $\alpha = 5\%$.

$$t_{tab} = t_{n-1, \alpha} = t_{5,5\%} = 2,015$$

TABELA 3 – Absorbâncias obtidas para cada concentração da solução padrão de glicose.

Absorbância (540nm)	Concentração (g/L)
0,424	0,72
0,704	1,44
1,016	2,16
1,292	2,88
1,578	3,6

GRÁFICO 1 - Curva padrão de glicose.

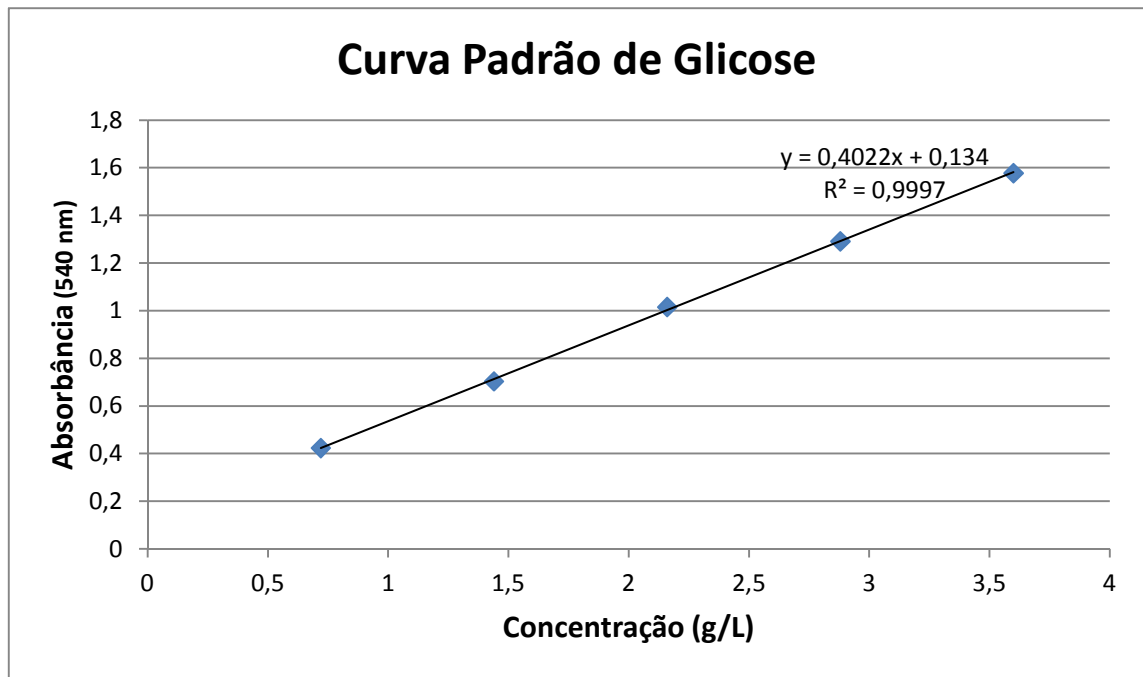


TABELA 4 - Açúcares redutores em g/L e percentual em função da absorbância.

	Absorbância (540 nm)	Concentração (g/L)	%
Amostra 1 não triturada	0,234	0,228	0,0229
Amostra 1 triturada	0,243	0,231	0,0231
Amostra 2 não triturada	0,253	0,235	0,0235
Amostra 2 triturada	0,446	0,313	0,0313
Amostra 3 não triturada	0,158	0,197	0,0197
Amostra 3 triturada	0,313	0,259	0,0259
Amostra 4 não triturada	0,306	0,257	0,0257
Amostra 4 triturada	0,718	0,422	0,0422
Amostra 5 não triturada	0,442	0,311	0,0311
Amostra 5 triturada	0,411	0,299	0,0299
Amostra 6 não triturada	0,100	0,174	0,00174
Amostra 6 triturada	0,160	0,198	0,00198

De acordo com a tabela 4 as amostras de açúcares redutores trituradas apresentam maior absorvância e maior concentração que as amostras não trituradas.

TABELA 5 – Açúcares redutores totais em g/L e percentual em função da absorvância.

	Absorvância (540 nm)	Concentração (g/L)	%
Amostra 1 não triturada	1,672	3,216	0,3216
Amostra 1 triturada	1,684	3,236	0,3236
Amostra 2 não triturada	1,367	2,728	0,2728
Amostra 2 triturada	2,274	4,184	0,4184
Amostra 3 não triturada	0,762	1,756	0,1756
Amostra 3 triturada	2,115	3,928	0,3925
Amostra 4 não triturada	0,614	1,516	0,1561
Amostra 4 triturada	1,223	2,496	0,2496
Amostra 5 não triturada	0,700	1,656	0,1656
Amostra 5 triturada	0,649	1,576	0,1576
Amostra 6 não triturada	0,891	1,964	0,1964
<i>Amostra 6 triturada</i>	1,636	3,156	0,3156

De acordo com a tabela 5 as amostras de açúcares redutores totais trituradas apresentam maior absorvância e maior concentração que as amostras não trituradas.

TABELA 6 - Média e desvio-padrão de amostras de bagaços triturados e não triturados de análise de açúcares redutores.

	NT	T
AR	0,228	0,231
	0,235	0,313
	0,197	0,259
	0,257	0,422
	0,311	0,299
	0,174	0,198
Média	0,233	0,287
Desvio	0,047	0,078

Nota-se que na tabela 6 a média e o desvio-padrão das amostras não trituradas (NT) são menores que as amostras trituradas (T).

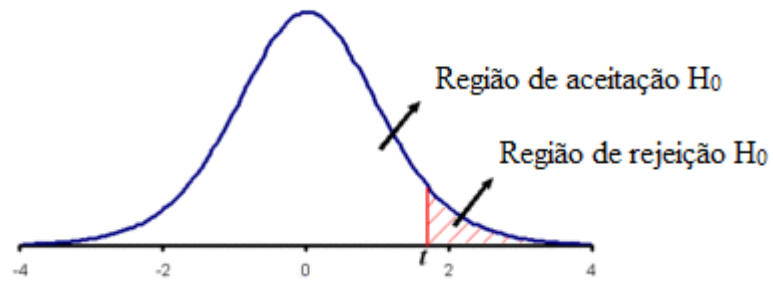
TABELA 7 - Média e desvio-padrão de amostras de bagaços triturados e não triturados de análise de açúcares redutores totais.

	NT	T
ART	3,216	3,236
	2,728	4,184
	1,756	3,928
	1,516	2,496
	1,656	1,576
	1,964	3,156
Média	2,139	3,096
Desvio	0,679	0,955

Nota-se que na tabela 7 a média e o desvio-padrão das amostras não trituradas (NT) são menores que as amostras trituradas (T).

TABELA 8 - Estatística de teste para dados emparelhados.

Estatística de teste para dados emparelhados			
Tcalc AR	2,024732576	t tabelado 5%	2,015
Tcalc ART	2,711537775	t tabelado 10%	1,476
		$t(n-1;\alpha)$	$t5;\alpha$

FIGURA 12 – Aceitação e Rejeição H_0 

Como $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$ ($2,02 > 2,015$), ao nível de 5% de significância, pode-se concluir que existe diferença significativa entre as amostras não trituradas e trituradas, tanto para AR quanto para ART.

6 CONCLUSÃO

Após as análises estatísticas dos resultados obtidos conclui-se que existe diferença significativa entre as amostras de bagaço triturado e bagaço não triturado tanto para Açúcares Redutores quanto para Açúcares Redutores Totais.

7 RECOMENDAÇÕES

Que o número de amostras coletadas sejam maiores.

Que se trabalhe com mais produtores, pois, existem diferenças nas moendas e, portanto, pode haver diferenças no teor de açúcares residuais.

Que sejam realizadas análises para açúcares redutores utilizando-se outros métodos quantitativos para verificação do teor residual.

REFERENCIAS

- ALVES, E. R.; *et al.* Determinação de açúcares redutores totais empregando sistemas de análise por injeção em fluxo: aplicação a amostra de relevância sucroalcooleira. **Revista Analytica**, São Paulo, n.19, p.74-77, 2005.
- AVANSI, A. J. **Bagaço de cana-de-açúcar: um resíduo promissor**. 2011. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Jaboticabal, 2011.
- BORGES, S. C. *et al.* **Cultura da Cana-de-açúcar**. Cidade Gaúcha: UEM, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAeAwAF/cultivo-cana-acucar>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- BORLINA FILHO, V. Aumento do etanol na gasolina deve ser anunciado o quanto antes, diz ÚNICA. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 17 jan. 2013. Folha Mercado. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/1216354-aumento-do-etanol-na-gasolina-deve-ser-anunciado-o-quanto-antes-diz-unica.shtml>>. Acesso em: 18 jan. 2013.
- BOZA, Y.; HORI, J. **Influência da destilação sobre a composição e a qualidade sensorial da aguardente de cana-de-açúcar**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1998.
- BUTKE, A. C.; *et al.* **Determinação de açúcares redutores DNS: 2º relatório de bioquímica**. Rio Grande: FURG, 2010.
- CASTRO, L. B. B. N.; *et al.* Bagaço da cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes. **Pubvet**, Londrina, v.2, n.30, ed. 41, art. 432, 2008. Disponível em: <http://www.pubvet.com.br/artigos_det.asp?artigo=43>. Acesso em: 17 nov. 2012.
- COSTA NETO, P. L. O. Estatística. 2. ed. São Paulo: Ed. Blucher, 2002. 266p.
- FERREIRA, H. H. **O poder energético do bagaço de cana-de-açúcar em co-geração**. 2011. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2011.
- GLOBO UNIVERSIDADE. **Aproveitamento da cana-de-açúcar praticamente não gera resíduos**. 2012. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globouniversidade/noticia/2011/10/aproveitamento-da-cana-de-acucar-praticamente-nao-gera-residuos.html>>. Acesso em: 13 jan. 2013.
- HAMERSKI, F. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar**. 2009. 148f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- MIRANDA, M. B.; *et al.* Qualidade química de cachaças e de aguardentes brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Piracicaba, v.27, n.4, 2007.

MORAES, K. Resíduos agropecuários: Cana de açúcar é a cultura que mais produz resíduos no Brasil. **RuralBR**, série especial, 2012. Disponível em: <<http://agricultura.ruralbr.com.br/noticia/2012/06/residuos-agropecuarios-cana-de-acucar-e-a-cultura-que-mais-produz-residuos-no-brasil-3778524.html>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

NUNES, I. H. S. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção**. 2009. 65f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

PAVANI, J. A. **Degradação fotocatalítica de azul de metileno contido em resíduos do caldo de cana**. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal. Jaboticabal, 2010.

RAMOS, L. P. **Aproveitamento integral de resíduos agrícolas e agro-industriais**. Curitiba: Centro de Pesquisa em Química Aplicada, UFPR, 2000.

RODRIGUES, C. G. A.; SANTOS, T. T. **Manual de prática de processos bioquímicos**. 40f. 2011. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. (Apostila).
RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: EdUnesp, 1995.

ROSALES, L. F. **Tratamento e reutilização do cobre em resíduos de análises tecnológicas da cana-de-açúcar**. 2010. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Jaboticabal, 2010.

SAKAI, R.H. **Cana-de-açúcar: cachaça**. Agência de Informação Embrapa, 2007. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em 11 de out. 2012.

SANTOS, F. A. *et al.* Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v.35, n.5, p. 1004-1010, 2012.

SCHEIDER, C. *et al.* **Química Analítica: espectrofotometria e espectrofotometria de absorção atômica**. Presidente Prudente: Unesp, 2010. (Trabalho apresentado para conclusão de disciplina no Departamento de Engenharia Ambiental).

SILVA, O. G. **Produção de etanol com a utilização do bagaço de cana-de-açúcar**. 2010. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2010.

TAVARES, J. T. Q. *et al.* Interferência do ácido ascórbico na determinação de açúcares redutores pelo método de Lane e Eynon. **Química Nova**, v.33, n.4, 2010.

VENTURINI FILHO, W. G.; NOGUEIRA, A. M.P. **Aguardente de cana**. Botucatu: Ed. Unesp, 2005.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Ed. Blucher, 2010.

ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo, v.1, 1974.