

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

FÁTIMA RODRIGUES SANTANA

**ESTUDO DA CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
AGUARDENTE DA POLPA DE BANANA (*Musa cavendish*)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2015

FÁTIMA RODRIGUES SANTANA

**ESTUDO DA CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
AGUARDENTE DA POLPA DE BANANA (*Musa cavendish*)**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado a
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia
em Processos Químicos — COPEQ — da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR *Campus* Toledo, como requisito parcial
para obtenção do título de Tecnólogo em
Processos Químicos

Orientadora: Gracinda Marina Castelo da Silva

TOLEDO
2015

**TERMO DE APROVAÇÃO
DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

FÁTIMA RODRIGUES SANTANA

**ESTUDO DA CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
AGUARDENTE DA POLPA DE BANANA (*Musa cavendish*)**

Trabalho apresentado como forma de avaliação para o Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Tecnologia em Processos Químicos da UTFPR, *Campus Toledo*, e aprovado pela banca examinadora abaixo.

Prof. Dr^a Gracinda Marina Castelo da Silva
Orientadora

Prof. Dr^a Alessandra Cristine Novak Sydney
Banca Examinadora

Prof. Dr. Jones Erni Schmitz
Banca Examinadora

Toledo, Novembro de 2015

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado o privilégio da vida, por ouvir os meus pedidos e me sustentar nos momentos de fraqueza.

À professora Dr^a Gracinda Marina Castelo da Silva pela atenção a mim dedicada durante este trabalho. Agradeço pela paciência, por todo empenho e apoio, incentivo e pela orientação, pois foi de imprescindível importância para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Aos meus pais, Geralda e Valdir, minha base e fortaleza, merecedores de toda honra e eterna gratidão. Agradeço pelo apoio e incentivo, pois sempre foram de grande importância durante toda minha vida acadêmica.

Aos meus irmãos Aloisio e Valdir Filho e minha irmã Silvana, sempre companheiros e dispostos a me ajudar.

Aos amigos Cleverson, pelo apoio e paciência ao me ouvir, e pela ajuda quando necessitei.

A todos os meus professores que de alguma maneira colaboraram com o desenvolvimento deste trabalho, e que sempre foram tão comprometidos com meu aprendizado e desenvolvimento acadêmico.

Aos amigos adquiridos durante a graduação, pois de alguma maneira contribuíram para meu crescimento acadêmico e pessoal.

RESUMO

SANTANA, Fátima Rodrigues. **Estudo Da Cinética De Fermentação Na Produção De Aguardente Da Polpa De Banana (*Musa Cavendish*)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2015.

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo e sua produção ocorre na maioria dos países tropicais. O Brasil destaca-se nesse mercado como sendo o terceiro maior produtor mundial da fruta, com 9,3% da produção total. Processos biotecnológicos como a fermentação alcoólica, permitem a produção de aguardente de banana, processo no qual é possível aproveitar a fruta em seu último estágio de maturação e com imperfeições, o que pode contribuir para um maior aproveitamento das frutas produzidas. Os objetivos do presente trabalho foram avaliar a melhor condição de fermentação para a produção da aguardente da polpa de banana, e avaliar a qualidade do produto final. Foram realizados quatro ensaios fermentativos, utilizando como inóculo 3 g/L do microrganismo *Saccharomyces cerevisiae* da marca comercial FLEISCHMANN, por 48 hs, utilizando diferentes valores de pH e diferentes concentrações de substrato. Para as análises da cinética de fermentação foram retiradas alíquotas a cada 2 horas, avaliando-se pH, substrato, formação de produto e biomassa. Foram avaliados o rendimento dos ensaios, representados por $(Y_{x/s})$ e $(Y_{p/s})$, além do rendimento da matéria-prima. O ensaio realizado com pH 4,15 g/L e 15°Brix, apresentou a maior concentração de etanol (16,8% volume), dando a aguardente teor alcoólico de 51,8% volume, neste ensaio obteve-se rendimento de 84,36 %, maior produtividade (8,52 g/L.h⁻¹), assim como maior $Y_{x/s}$ (0,092) e $Y_{p/s}$ (0,41). Grau de acidez de 4,24g/ 100mL, ésteres de 0,19g/100mL de álcool anidro e extrato seco de 0,06g/L. Observou-se que o pH não alterou significativamente a fermentação quando comparada com o ensaio de igual concentração de substrato. Assim pode-se concluir que a banana é uma matéria-prima adequada para a produção de aguardente. As 4 aguardentes apresentam-se de acordo com o estipulado pela legislação porém é pertinente ressaltar que é preciso a realização de análises cromatográficas para a detecção de compostos secundários e assegurar a qualidade da aguardente.

Palavras-chave: Banana, fermentação alcoólica, *Saccharomyces cerevisiae*, aguardente.

ABSTRACT

SANTANA, Fátima Rodrigues. **Study Of Kinetic Proving The Banana Pulp Brandy Production (Musa Cavendish)**. Completion of Course Work. Federal Technological University of Paraná. Toledo, 2015.

Banana is one of the most consumed fruits in the world and its production takes place in most tropical countries. The Brazil stands out in this market as the world's third largest fruit producer, with 9.3% of total production. Biotechnological processes such as fermentation, allow the banana brandy production, process in which enjoy the fruit in its last stage of maturation and imperfections, which can contribute to a better use of produced fruits. The objectives of this study were to evaluate the best fermentation condition for the production of banana pulp brandy, and evaluate the quality of the final product. Four fermentation tests were performed using as inoculum 3 g/L of the micro-organism *Saccharomyces cerevisiae* trademark FLEISCHMANN, for 48 hours using different pH values of different substrate concentrations. For the analyzes of fermentation kinetics were taken aliquots each 2 hours, assessing pH, substrate, product formation and biomass. Were evaluated the efficiency of the tests represented by $Y_{x/s}$ and $Y_{p/s}$, and the efficiency of the raw material. The test conducted at pH 4,15 g/L and 15 ° Brix, with the highest concentration of ethanol (16.8% volume), giving the alcohol content brandy 51.8 % v/v. In this test obtained yield of 84.36%, higher productivity (8.52 g/L.h⁻¹) and most $Y_{x/s}$ (0.092) and $Y_{p/s}$ (0.41). It can be concluded that the banana is a good raw material for the production of brandy. It was observed that the pH did not significantly alter the fermentation compared to the same assay substrate concentration. Acidity of 4.24g / 100mL, esters of 0.19 g / 100mL of anhydrous alcohol and dry extract of 0.06g / L. The four brandy are presented according to stipulated by law but is relevant to point out that the realization of chromatographic analysis for the detection of secondary compounds and ensure the quality of brandy is necessary.

Keywords: Banana, alcoholic fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, Brandy.

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
pH	Potencial Hidrogênionico
Art	Artigo
%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
°Brix	Grau Brix
°GL	°Grau Gay Lussac
SS	Sólidos Solúveis
$Y_{p/s}$	Rendimento em Produto
$Y_{x/s}$	Rendimento em Biomassa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva de crescimento microbiano.....	20
Figura 2: Matéria-prima higienizada em processo de secagem natural em bancada e sob temperatura ambiente.....	26
Figura 3: Mosto em processo de aquecimento a 90°C para a redução de microrganismos contaminantes.....	27
Figura 4: Biorreator utilizado nos 4 ensaios fermentativos.....	29
Figura 5: Mosto fermentado em processo de peneiramento.....	29
Figura 6: Vinho filtrado em processo de sedimentação.....	30
Figura 7: Sistema de destilação utilizado para a obtenção da aguardente....	31
Figura 8: Câmara de Neubauer utilizadas para contagem celular.....	33
Figura 9: Resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a etapa de fermentação do mosto da banana nas condições iniciais propostas para o ensaio 1.....	38
Figura 10: Resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a etapa de fermentação do mosto da banana nas condições iniciais propostas para o Ensaio 2.....	41
Figura 11: Resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a etapa de fermentação do mosto da banana nas condições iniciais propostas para o ensaio 3.....	43
Figura 12: Resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a etapa de fermentação do mosto da banana nas condições iniciais propostas para o ensaio 4.....	45
Figura 13: Comparativo da formação de produto durante os quatro ensaios fermentativos.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química de algumas variedades de banana madura, por 100 g de parte comestível.....	17
Tabela 2: Escala de maturação de banana, segundo o aspecto e os teores de amido e açúcar.....	18
Tabela 3: Parâmetros utilizados para avaliação dos quatro ensaios fermentativos.....	26
Tabela 4: Características físico-químicas do caldo de banana (<i>Musa cavendish</i>) utilizados nos quatro ensaios de fermentação.....	36
Tabela 5: Parâmetros iniciais e finais monitorados durante os quatro ensaios fermentativos.....	47
Tabela 6: Resultados do rendimento (%), produtividade, ($Y_{p/s}$) e ($Y_{x/s}$) para os quatro ensaios fermentativos do caldo de banana.....	48
Tabela 7: Dados referentes às pesagens das matérias-primas e o rendimento polpa/casca em cada fermentação.....	49
Tabela 8: Resultados das avaliações físico-químicas dos quatro ensaios para a aguardente de banana (<i>Musa cavendish</i>).....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	BANANA.....	16
2.1.1	Características gerais, produção e importância econômica.....	16
2.1.2	Propriedades nutricionais.....	17
2.2	Aguardente de frutas.....	18
2.3	Fermentação alcoólica.....	19
2.4	Leveduras (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>).....	21
2.5	Fatores que afetam a fermentação.....	22
2.6	Cinética dos processos fermentativos.....	22
2.7	Destilação.....	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1	Metodologia.....	24
3.1.1	Obtenção da amostra.....	24
3.1.2	Preparação da matéria-prima.....	24
3.1.3	Planejamento experimental.....	25
3.2	Condução da fermentação.....	26
3.2.1	Preparo do mosto.....	26
3.2.2	Inoculação da levedura.....	27
3.2.3	Fermentação alcoólica.....	27
3.2.4	Filtração e repouso da aguardente.....	28
3.2.5	Destilação.....	29
3.3	Métodos analíticos.....	29
3.3.1	Análises físico-químicas.....	29
3.4	Estudo cinético.....	30
3.4.1	Determinação da concentração celular.....	30
3.4.2	Percentual de conversão, produtividade e parâmetros cinéticos da fermentação alcoólica.....	31
3.4.3	Pesagens das matérias-primas e o rendimento polpa/casca em cada fermentação.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1	Caracterização do mosto de banana.....	34
4.2	Estudo cinético da fermentação alcoólica.....	35
4.3	Avaliação dos parâmetros cinéticos e rendimento da matéria-prima.....	44
4.4	Caracterização físico-química da aguardente de banana.....	47
5	CONCLUSÃO.....	50
6	SUGESTÕES.....	51
7	REFERENCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo, sendo que sua produção ocorre na maioria dos países tropicais. O Brasil destaca-se nesse mercado como sendo o terceiro maior produtor mundial da fruta, com 9,3% da produção total, sendo menor que a produção de Índia e Equador (EMBRAPA, 2009). Segundo dados do IBGE (2014) a produção de banana no Brasil no ano de 2014 foi de 7.138. 437 toneladas, ocupando área total de 487.902 hectares.

O maior consumo de banana acontece de forma *in natura* (JAIGOBIN *et al.*, 2007). Portanto seu desperdício é bastante alto, chegando a 40% da produção, devido há perdas pós-colheita e ao descarte da fruta, já que muitas vezes essas frutas não se enquadram nos padrões de aceitabilidade do consumidor, como por exemplo, frutas muito amadurecidas e com imperfeições (CARDENETTE, 2006). Boa parte dessas perdas podem ser minimizadas a partir da produção de diversos produtos como o purê de banana que representa 55% do total de produtos industrializados. Também são produzidas quantidades consideráveis de banana-passa, flocos e chips, além de banana em calda, bala e fruta cristalizada (ROSSO, 2009).

Processos biotecnológicos como a fermentação alcoólica, permitem a produção de aguardente de banana, já que é possível aproveitar a fruta em seu último estágio de maturação e com imperfeições, podendo então contribuir para o melhor aproveitamento desses frutos (GUIMARÃES FILHO, 2003). A fermentação alcoólica é a biotransformação do substrato (açúcar) em álcool por meio de um microorganismo, sendo este o principal constituinte do processo fermentativo (ALCARDE, 2009).

Segundo a legislação brasileira, em seu Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009, Art 51, aguardente é a bebida com graduação alcoólica de 38% a 54% em volume, a 20°C, obtida do rebaixamento do teor alcoólico do destilado alcoólico simples ou pela destilação do mosto fermentado, devendo ter a denominação de sua matéria-prima de origem (MAPA, 2009).

A destilação deverá ser efetuada de forma que o destilado tenha o aroma e o sabor dos elementos naturais voláteis contidos no mosto fermentado, derivados do processo fermentativo ou formados durante a

destilação (MAPA, 2009).

A aguardente é a bebida destilada mais consumida pelos brasileiros e a terceira mais consumida no mundo. Sua produção é cerca de 1,3 bilhão de litros por ano, sendo que cerca de 75% desse total é proveniente da fabricação industrial e 25%, da forma artesanal (VENTURINI FILHO, 2005).

Estudos sobre os parâmetros da fermentação e destilação de aguardente de banana apontam a necessidade de se ter um efetivo controle de alguns parâmetros da fermentação, como temperatura e pH. Isso se deve ao fato de nesse tipo de fermentação ser constatada a formação de alguns compostos secundários, como alcoóis superiores e metanol, compostos indesejados no produto final. Assim, assegura-se a qualidade da aguardente produzida e também que o rendimento da produção não seja afetado.

Este trabalho teve como objetivo o aproveitamento do fruto da bananeira para a elaboração de aguardente, avaliando parâmetros fermentativos como pH, biomassa e produto, o rendimento do processo, assim como a qualidade do produto obtido.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a cinética de fermentação na produção de aguardente de banana, utilizando-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, bem como a avaliação físico-química do produto final, a fim de se avaliar sua qualidade ao confrontar com a legislação vigente.

1.1.2 Objetivos específicos

- Produzir aguardente de banana a partir da polpa do fruto da variedade nanica (*Musa cavendish*) em completo estado de maturação;
- Realizar 4 ensaios fermentativos, nas diferentes condições: pH 5,

15°Brix e T 32°C, pH 4,5, 15°Brix e T 30°C; pH 5, 21°Brix (*in natura*) e T 32°C, pH 4,5, 21°Brix (*in natura*) e 30°C.

- Determinar o rendimento da matéria-prima;
- Determinar a cinética de fermentação para cada ensaio através dos parâmetros: conversão de substrato em produto, produtividade, rendimento teórico e rendimento em biomassa;
- Realizar análises físico-químicas para a caracterização da aguardente produzida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BANANA

2.1.1 Características gerais, produção e importância econômica

A banana (*Musa cavendish*) é uma das frutas mais consumidas no mundo, sendo produzida na maioria dos países tropicais (FAO, 2005). É originária da Ásia, onde é cultivada há mais de 4 mil anos. Ela foi trazida pelos portugueses ao Brasil, sendo cultivada em todas as regiões tropicais e exportada para todo o mundo (DELECAVE, 2010).

Segundo o SEBRAE (2008) a bananicultura responde por 15,1% da produção nacional de frutas, onde são cultivados diversos tipos de banana, dentre as principais variedades estão a nanicão, prata, maçã e nanica. É a segunda fruta de maior produção no país, perdendo apenas para a cultura de laranja.

Um aspecto bastante relevante na cadeia produtiva de banana são as perdas decorrentes no processo de colheita, logística e também à mesa do consumidor, devido a sua fragilidade e perecibilidade (SEBRAE, 2008). Existem muitas maneiras de se aproveitar essas frutas, que podem ser utilizadas na produção de balas e geleias. Outro produto que pode colaborar para a diminuição de perdas é a aguardente de banana, já que é possível utilizar a fruta em seu último estágio de maturação e com imperfeições.

Existem alguns estudos sobre a utilização da banana para a produção de bebidas. Arruda *et al.* (2003), realizaram a produção de fermentado de banana, assim como Teixeira *et al.* (2005) que produziram licor a partir desse fruto. Silva *et al.* (2009) realizaram a produção de aguardente de banana a partir da polpa e também de banana integral através de hidrólise enzimática, não obtendo significativas diferenças ao se realizar análises físico-químicas e sensoriais nos produtos finais.

2.1.2 Propriedades nutricionais

A banana é uma das frutas que possuem melhor aceitação pelo consumidor, o que se deve em grande parte aos seus aspectos nutricionais e sensoriais, possuindo grande valor energético (MATSUURA *et al.* 2004). Sua composição química é extremamente variável, em função do cultivar, grau de maturação, sanidade, clima, ano agrícola, posição da banana no cacho (SILVA, 2004).

A Tabela 1 apresenta a composição nutricional de três espécies de banana, as quais segundo a Embrapa (2003) são as espécies mais consumidas no Brasil.

Tabela 1. Composição química de algumas variedades de banana madura, por 100 g de parte comestível.

Composição	Nanina	Prata	Maça
Umidade	73,8 %	71,9 %	75,2 %
Carboidrato	20,64 g	26,0 g	22,3 g
Proteína	1,4 g	1,3 g	1,8 g
Lipídio	0,1 g	0,1 g	0,1 g
Cálcio	3 mg	8 mg	3 mg
Fósforo	27 mg	22 mg	29 mg
Ferro	0,3 mg	0,4 mg	0,2 mg
Potássio	323,36 mg	358 mg	262 mg
Fibras	1,63 g	2,0 g	2,6 g
Vitamina C	5,9 mg	21,6 mg	10,5 mg

Fonte. TACO, 2011.

Por ser um fruto climatérico, é colhido ainda verde. Seu amadurecimento não é uniforme devido a sua formação em pencas, havendo variação de idade (ROCHA, 1984).

Devido à variação climática, a banana pode sofrer alterações metabólicas. Segundo CHITARRA (2000) o amido presente é convertido em açúcares simples, sendo essa uma das mudanças mais notáveis no amadurecimento da banana. O amido é transformado, predominantemente, em

açúcares redutores como glicose e frutose (8 a 10%) e sacarose (10 a 20%).

As cores dos frutos estão diretamente relacionadas com seu estágio de maturação, sendo também perceptível a variação dos teores de amido e sacarose, em relação ao grau de maturação das mesmas. HAENDLER (1966) realizou estudo comparando os níveis de amido e açúcar entre os vários estágios de maturação da banana, e seus resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Escala de maturação de banana, segundo o aspecto e os teores de amido e açúcar.

Estágio de Maturação	Aspecto da Fruta	Amido (%)	Açúcar (%)
1	Verde	21,5 a 19,5	0,1 a 2,0
2	Verde com traços amarelos	19,5 a 16,5	2,0 a 5,0
3	Mais verde que amarela	18,0 a 14,5	3,5 a 7,0
4	Mais amarela que verde	15,0 a 9,0	6,0 a 12,0
5	Amarela com extremidade verde	10,5 a 2,5	10,0 a 18,0
6	Inteiramente amarela	4,0 a 1,0	16,5 a 19,5
7	Amarela com pequenas manchas pardas	2,5 a 1,0	17,5 a 19,0
8	Amarela com grandes manchas pardas	1,5 a 1,0	18,5 a 19,0

Fonte. Haendler (1966).

2.2 Aguardente de frutas

A legislação brasileira define bebida como todo produto industrializado, destinado a ingestão humana, em estado líquido, sem finalidade medicamentosa ou terapêutica (MAPA, 2009).

Segundo o Decreto N°2.314, de 04 de setembro de 1997, aguardente é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do rebaixamento do teor alcoólico do destilado alcoólico simples, ou pela destilação do mosto fermentado (MAPA, 2009).

Aguardente de frutas, ou também denominada de *brandy* de frutas, são

as bebidas com teor alcoólico de 36 a 54% em volume. No Brasil, a produção desse tipo de aguardente ainda é pequena, apesar da grande variedade de frutas existentes que possibilitam obter bebidas destiladas de boa qualidade (AQUARONE *et.al.*, 2001).

Dentre os variados tipos de aguardentes de frutas, estão as fabricadas a partir da banana. Para que se possa obter uma aguardente de banana de boa qualidade, é necessário que a fruta esteja em um avançado estado de maturação, correspondendo a um alto teor de açúcares fermentescíveis (LARA, 2007). Esta característica está presente na banana madura, pois a mesma possui grande quantidade de açúcar fermentescível (19% aproximadamente) (HAENDLER, 1966).

2.3 Fermentação alcoólica

O processo de fermentação é conhecido desde a antiguidade, sendo considerada uma das etapas mais importantes na elaboração de pães e bebidas alcoólicas (LIMA *et al.*, 2001). Ele consiste na transformação dos açúcares em álcool etílico, ocorrendo intensa formação de gás carbônico (GUIMARÃES FILHO, 2003).

Na fermentação alcoólica uma molécula de glicose ($C_6H_{12}O_6$) é convertida em duas de etanol (C_2H_5OH) e mais duas de CO_2 . Estequiometricamente, o rendimento teórico da reação é de 0,511 g etanol/g glicose. No entanto, partes dos açúcares presentes no meio são consumidos em reações paralelas, necessárias para a síntese de etanol. Além do crescimento microbiano, outros produtos podem ser formados, dentre eles o glicerol e ácidos orgânicos, principalmente ácidos acéticos e succínico, além de outros álcoois (DIAS, 2008). Segundo Venturine Filho (2005) essas substâncias são responsáveis pela formação do aroma que caracteriza o produto final.

A formação de glicerol está ligada ao crescimento microbiano, já a formação dos ácidos ocorre devido ao stress osmótico da levedura utilizada, devido a altas concentrações de açúcares ou sais no mosto, contaminação bacteriana e altas temperaturas (BASSO, 2006). Portanto, faz-se necessário o controle de parâmetros como o teor de sólidos solúveis (°Brix), pH e

temperatura, que influenciam diretamente na formação desses produtos, que afetam diretamente o rendimento de etanol no processo fermentativo (DIAS, 2008).

A fermentação ocorre em três etapas. A primeira delas é conhecida como fermentação preliminar, ou fase de adaptação (Figura 1). Ocorrendo a multiplicação de leveduras através do consumo de açúcares, porém ainda não ocorre a produção de álcool e CO₂, devendo ser uma etapa curta (VENTURINI FILHO, 2005).



Figura 1. Curva de crescimento microbiano.

Em sequência ocorre a chamada “fermentação principal”, em que já se observa significativo desprendimento de CO₂, ocorrendo elevada produção de álcool, aumento da temperatura e dos teores ácidos, formação de espumas e grande diminuição de densidade do mosto em fermentação (VENTURINI FILHO, 2005). A terceira e última etapa do processo fermentativo é o chamado processo complementar, em que há consumo dos açúcares que ainda estão no meio, ocorrendo o aumento da acidez, redução da temperatura e desprendimento de CO₂, em virtude da menor formação de etanol, devido ao esgotamento do meio (VENTURINI FILHO, 2005).

Para que ocorra uma fermentação favorável, é importante que a temperatura se mantenha entre 28°C e 30°C, sendo a temperatura adequada para a levedura *Saccharomyces cerevisiae* (SILVA, 2004). Esta faixa de temperatura permite alto rendimento alcoólico por possibilitar uma fermentação mais completa e minimiza perdas por evaporação (AQUARONE *et.al.*, 1983).

Segundo Ribeiro (2002) e Venturini (2010) a fermentação chega ao fim, quando não há presença de espuma na superfície do mosto, devido à diminuição do desprendimento de CO₂, redução da temperatura, aumento da acidez, e o °Brix próximo de zero, devido ao consumo de substrato.

2.4 Leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*)

As leveduras são microrganismos eucarióticos predominantemente unicelulares e pertencentes ao Reino Fungi, sendo capazes de metabolizar de maneira eficiente os constituintes do mosto em fermentação (CARVALHO et al., 2006). São os microrganismos mais importantes no processo de fermentação para a obtenção de álcool. Na fabricação de bebidas alcoólicas as mais utilizadas geralmente são linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* (MENDES 2008). Trata-se de um microrganismo que possui inúmeras habilidades metabólicas, podendo alterar a estequiometria da reação em resposta as alterações no meio, causando impactos no rendimento do processo (BASSO, 2004).

Poucas linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* são utilizadas na produção de álcool, assim é necessária a escolha daquelas que apresentam características desejáveis ao processo fermentativo (AMORIM, 2005).

A espécie escolhida deve apresentar alta velocidade de fermentação, processo através do qual ocorre a transformação do açúcar em álcool por unidade de tempo e de massa. É de grande interesse que a levedura apresente resistência ao álcool, pois assim pode-se operar em mostos com grandes concentrações de açúcar, obtendo-se vinho com maior teor alcoólico (AMORIM, 2005).

É desejável que a levedura possua grande eficiência de conversão, uma vez que isso acarretará em um processo mais efetivo. A resistência ao pH e a antissépticos é outro fator a ser observado na escolha da levedura, pois reduzir o pH e adicionar antissépticos são recursos utilizados para combater contaminações do mosto e do vinho (AMORIM, 2005).

2.5 Fatores que afetam a fermentação

De acordo com Cardoso (2001), o rendimento da fermentação é uma característica importante no aspecto econômico na produção do produto final e está diretamente ligado com a qualidade da mesma do mesmo.

Fatores físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, nutrientes minerais e orgânicos) e microbiológicos (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana), afetam o rendimento da fermentação (LIMA et al., 2001)

Durante a fermentação alcoólica, a levedura pode ficar exposta a diversos fatores estressantes, dentre eles altos níveis de teor alcoólico, altas temperaturas, presença de sulfito, contaminação bacteriana e a acidez do meio (inclusive durante o tratamento ácido). (BASSO, 1994).

As temperaturas ótimas para a produção de etanol situam-se entre 26 e 36°C (CARDOSO, 2001). O aumento da temperatura acarreta no aumento da velocidade de fermentação, porém favorece a contaminação bacteriana. Além disso, a levedura fica mais sensível a toxicidade do etanol (LIMA et al., 2001).

A condução da fermentação deve ser conduzida com valores de pH entre 4 e 5. Os valores de pH em mostos industriais encontram-se geralmente na faixa de 4,5 a 5,5, possuindo boa capacidade tamponante (AMORIM E LIMA, 2001).

2.6 Cinética dos processos fermentativos

A análise da cinética de fermentação tem por objetivo quantificar a velocidade de transformação que ocorre durante o processo, estudar a influência dos fatores na velocidade durante a fermentação e correlacionar por meio de equações, as velocidades com os fatores que as influenciam possibilitando o aperfeiçoamento do processo (TOSETTO, 2002).

Em uma fermentação ocorrem diversas transformações simultâneas, pois as células crescem, se reproduzem e morrem, diversas substâncias presentes no meio são consumidas pelas leveduras e produtos provenientes de seu metabolismo são lançados no meio (ROCHA, 1984).

Os principais parâmetros a serem analisados são as variações de concentração celular, de substrato (açúcares fermentescíveis), e de concentração de álcool com o tempo (LIMA, 2001). Ainda é possível analisar a influência de parâmetros como pH, temperatura e inibidores, sobre o produto de interesse e como esses fatores influenciam o processo fermentativo (FERNANDES, 2003).

2.7 Destilação

Destilação é o processo de volatilizar o líquido pelo aquecimento, condensando-o a seguir, objetivando a purificação ou formação de produtos novos por decomposição das frações (VENTUTINI FILHO, *et al.*, 2010)

A destilação atua nas características sensoriais das bebidas alcoólicas, uma vez que a quantidade de compostos voláteis, absoluta e relativa é influenciada por esse processo (LARA, 2007).

No processo de fabricação de aguardente, a destilação é a etapa na qual o álcool é separado dos demais componentes que formam o vinho (Trindade, 2006).

Os componentes voláteis do vinho possuem diferentes graus de volatilidade, possibilitando sua separação. Assim o destilado pode ser dividido em três frações: cabeça, coração e cauda.

A cabeça é a fração do destilado obtido no início do processo, apresentando elevada graduação alcoólica (65-70% v/v). Porém à medida que ocorre a destilação, o vinho é transformado em álcool, tornando o destilado mais pobre. Essa fração é rica em ésteres, aldeídos, acetaldeídos, metanol, acetato de etila e outros compostos voláteis (VENTURINI FILHO, 2010).

A fração que corresponde ao coração é a fração rica em etanol, contendo menor proporção dos componentes mais leves. Essa fração corresponde a 80% do volume do destilado, correspondendo à aguardente (VENTURINI FILHO, 2010).

Cauda é a última fração decorrente do processo de destilação, sendo retirada a água-fraca, que corresponde a 10% da fração do destilado, é constituída por produtos mais pesados e menos voláteis que o etanol (VENTUTINI FILHO, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento e elaboração deste trabalho, são apresentados e discutidos a seguir os materiais, equipamentos, reagentes e procedimentos necessários para o processo fermentativo da aguardente e avaliação da cinética fermentativa. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Processos Químicos, Laboratório de Alimentos e no Laboratório de Físico-Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Toledo.

3.1 Metodologia

3.1.1 Obtenção da amostra

Para este projeto foram utilizadas como matéria-prima, bananas do tipo nanica (*Musa cavendish*), as quais, para cada uma das aguardentes produzidas, foram adquiridas um novo lote de frutos em um sítio na cidade de São José das Palmeiras-Paraná- Brasil. Esses frutos foram provenientes do excedente de produção. Foram adquiridas bananas maduras, no estágio de maturação 7, onde se encontravam amarelas com pequenas manchas pardas.

Para a produção de aguardente de banana foi utilizada a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, obtida em forma de fermento biológico seco, da marca Fleischmann, provenientes de um mesmo lote de produção, sendo adquirido em supermercado na cidade de São José das Palmeiras- PR.

3.1.2 Preparação da matéria-prima

Ao chegarem ao laboratório, às bananas adquiridas foram pesadas, lavadas em água clorada, ficando imersas por 20 minutos. O peso de cada lote encontra-se na Tabela 6. Após esse período, foi adotado o mesmo procedimento que Silva (2009). As bananas foram lavadas com água potável e

mantidas sobre bancada para a retirada do excesso de água. O aspecto dos frutos pode ser observado na Figura 2.

Após a lavagem, foram retiradas as cascas, que não foram utilizadas para a produção de aguardente. Elas foram armazenadas em freezer para posterior execução de projeto de iniciação científica, em que será produzida farinha da casca de banana madura.



Figura 2. Matéria-prima higienizada em processo de secagem natural em bancada e sob temperatura ambiente.

3.1.3 Planejamento experimental

A fim de se avaliar a melhor condição de fermentação, realizou-se um planejamento experimental determinando os parâmetros a serem modificados durante o estudo.

Assim foram realizados 4 ensaios fermentativos, modificando o pH e substrato, como exposto na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros utilizados para avaliação dos quatro ensaios fermentativos.

Fermentação	Sólidos Solúveis (°Brix)	pH	Temperatura (°C)
1	15	5,0	32
2	15	4,5	30
3	21 (<i>in natura</i>)	5,0	32
4	21 (<i>in natura</i>)	4,5	30

Para os ensaios 1 e 2, trabalhou-se com substrato em 15 °Brix, pois este é considerado adequado para a *S. cerevisiae*. Os ensaios 3 e 4 foram realizadas com o °Brix *in natura*, a fim de se avaliar a influência do substrato sobre a fermentação.

3.2 Condução da fermentação

3.2.1 Preparo do mosto

Após serem descascadas, as bananas foram cortadas, fatiadas e trituradas em liquidificador com o auxílio de 50 mL de água potável, para facilitar a trituração, afim de diminuir o tamanho da amostra (SILVA, 2004).

Hammond *et al.*, (1996) sugerem a realização de aquecimento do mosto a 90°C durante 1 hora, para a redução de microrganismos contaminantes. Esse procedimento foi então realizado em panela de alumínio, através de chama direta no recipiente, como mostra a Figura 3.

Após o tempo de 1 hora, o mosto foi resfriado a 40°C, o °Brix foi corrigido conforme a necessidade pela adição de água destilada, até obter-se o °Brix desejado para cada fermentação (Tabela 3) como sugere Silva (2004). Após a obtenção do °Brix correspondente a cada ensaio, separou-se 6 L de caldo a 26°C.



Figura 3. Mosto em processo de aquecimento a 90°C para a redução de microrganismos contaminantes.

3.2.2 Inoculação da levedura

Para a inoculação utilizou-se a concentração de 3 g/L de caldo, a mesma concentração utilizada por Souza (2009). O fermento prensado foi dissolvido em 50 mL de água, até formar uma pasta uniforme, e então adicionada ao mosto, para que houvesse o início da fermentação.

3.2.3 Fermentação alcoólica

Após a inoculação da levedura, procedeu-se a fermentação alcoólica, a uma temperatura de $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. A fermentação foi conduzida em biorreator com capacidade para 20 L, o qual foi construído utilizando-se um recipiente plástico, sendo acoplado termômetro para o controle da temperatura e uma mangueira para que houvesse a saída do gás (CO_2) produzido durante a fermentação (Figura 4).

Durante o processo de fermentação, retiraram-se alíquotas de 40 mL a cada 2 horas para a realizar a medição dos seguintes parâmetros: sólido solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), temperatura, pH, teor alcoólico e concentração celular, para o controle do processo e obtenção da cinética de fermentação.

O final da fermentação ocorreu ao se obter três medições estáveis e consecutivas de sólidos solúveis, e não sendo mais observada a produção de espumas no mosto (RIBEIRO, 2002).



Figura 4. Biorreator utilizado nos 4 ensaios fermentativos.

3.2.4 Filtração e repouso da aguardente

Após se completar a fermentação alcoólica, passou-se o vinho por peneiras convencionais para a remoção das partes grosseiras do mosto, como mostra a Figura 5.



Figura 5. Mosto fermentado em processo de peneiramento.

O vinho filtrado permaneceu em repouso pelo período de 1 (uma) semana, em garrafas PET transparentes, vedadas e tampadas (Figura 6) para posterior destilação.



Figura 6. Vinho filtrado em processo de sedimentação.

3.2.5 Destilação

Para o processo de destilação foram utilizados destiladores simples (Figura 7), e o processo ocorreu até a obtenção do grau alcoólico desejado, devendo estar entre 38 e 54°GL, o que é estabelecido pela legislação em vigor no país.

Não adotou-se o modo de fracionamento clássico de destilação (10 % “cabeça”, 80 % “coração” e 10 % “cauda”). A destilação ocorreu de modo que a temperatura utilizada não extrapolasse o ponto de ebulição do etanol, evitando a passagem do vinho para o destilado e a queima do vinho no fundo do balão a ser utilizado no destilador.

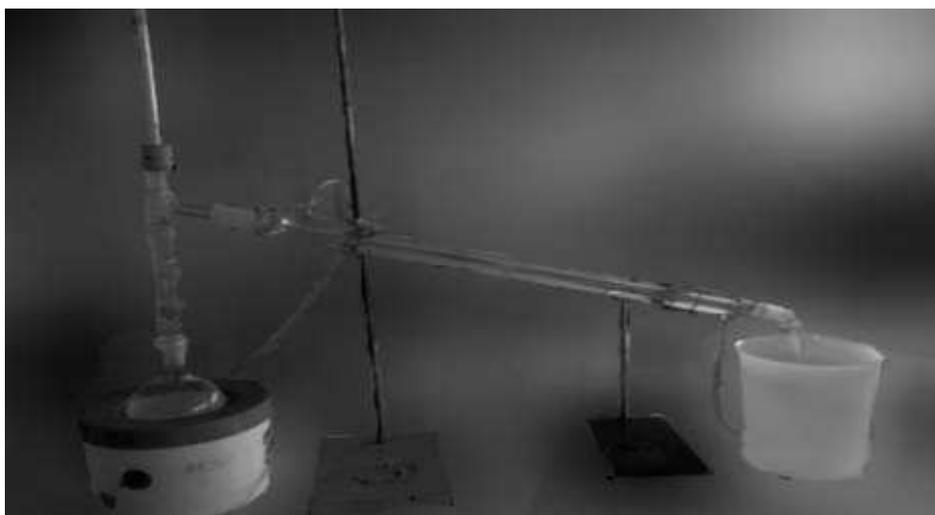


Figura 7. Sistema de destilação utilizado para a obtenção da aguardente para os quatro ensaios.

3.3 Métodos analíticos

3.3.1 Análises físico-químicas

- °Brix (mosto) - determinado através de refratômetro marca INSTRUTERM;

- Teor alcoólico (mosto) - determinado segundo a metodologia analítica do Instituto Adolf Lutz (2008), onde se utilizou microdestilador de álcool marca SOLAD, modelo: 0012. No procedimento foram adicionados 40 mL de amostra, sendo acoplado no destilador balão volumétrico (100 mL) para a coleta do destilado. A determinação da graduação alcoólica do destilado alcoólico foi determinada através da densidade relativa a 20°C.
- pH - determinado através de potenciômetro digital de bancada da marca INSTRUTERM;
- Graduação alcoólica das aguardentes - determinada sobre o destilado das aguardentes através da densidade relativa a 20°C, segundo metodologia analítica do Instituto Adolf Lutz (2008)
- Acidez volátil - realizado pela diferença entre acidez total e acidez fixa. Essas análises foram realizadas através de titulometria com NaOH, segundo a metodologia analítica do Instituto Adolf Lutz (2008);
- Ésteres totais - determinados através da metodologia analítica do Instituto Adolf Lutz (2008);

3.4 Estudo cinético

3.4.1 Determinação da concentração celular

A contagem de células foi efetuada em microscópio óptico comum através de método de contagem em Câmara de Neubauer modelo 1/400 mm² x 0,100 mm espelhada (Figura 8).



Figura 8. Câmara de Neubauer utilizadas para contagem celular.

Coletou-se 1 mL da amostra de suspensão celular e transferiu-se para um balão volumétrico de 10 mL. O balão foi completado com água destilada, obtendo uma diluição de 1:10. Homogeneizou-se. Coletou-se 0,1 mL da amostra diluída e transferiu-se para um tubo com tampa juntamente com 0,9 mL de azul de metileno (0,25%). Obtendo diluição de 1:100.

Fixou-se a lamínula na câmara de contagem, coletou-se uma alíquota da amostra, que foi transferida por capilaridade para a câmara. Em seguida a Câmara de Neubauer foi levada ao microscópio para realizar a contagem.

A contagem foi realizada nos 4 quadrantes laterais da câmara. Cada quadrado possuía 1 mm de lado e profundidade de 0,1mm.

O número total de células/mL foi determinado através do somatório de células contadas nos 4 quadrantes, considerando-se o fator de diluição e a área da câmara de contagem, como mostra a Equação (1).

$$N^{\circ} \text{células/mL} = n^{\circ} \text{total de células} / n^{\circ} \text{quadrantes} * Fd * V \text{ quadrante} \quad (1)$$

Onde:

Fd – fator de diluição

V quadrante- 10.000

3.4.2 Percentual de conversão, produtividade e parâmetros cinéticos da fermentação alcoólica

O percentual de rendimento e produtividade (g/L.h^{-1}) relativo à produção da fermentação alcoólica, foram calculados pelas equações 2 e 3

respectivamente.

$$\text{Redimento}(\%) = P/S_o * S * 100 \quad (2)$$

$$\text{Produtividade (g/L.h)} = P/t \quad (3)$$

Onde:

P – concentração de etanol experimental (g/L)

S₀ - concentração inicial de substrato (g/L)

S- concentração do substrato (g/L)

t- tempo de fermentação (h)

Os parâmetros cinéticos foram calculados através das equações 4 e 5:

$$Y_{x/s} = (X - X_0) / (S_0 - S) \quad (4)$$

$$Y_{p/s} = (P - P_0) / (S_0 - S) \quad (5)$$

Onde:

X – concentração final de biomassa (g/L)

X₀ - concentração inicial de biomassa (g/L);

S - concentração final de substrato (g/L);

S₀ - concentração inicial de substrato (g/L);

P - concentração final de produto (g/L);

P₀ - concentração inicial de produto (g/L);

Y_{x/s} – Rendimento em biomassa

Y_{p/s} – Rendimento em produto.

3.4.3 Pesagens das matérias-primas e o rendimento polpa/casca em cada fermentação

A fim de determinar o rendimento dos frutos, os mesmo foram pesados em balança semi-analítica, marca INSTRUTERM.

O rendimento de polpa (%) foi determinado a partir da Equação (6).

$$\text{Rendimento de polpa}(\%) = \text{massa final de polpa/massa total do fruto} * 100 \quad (6)$$

A relação polpa/casca foi determinada para verificar o grau de maturação dos frutos, através da Equação (7).

$$\text{Relação polpa/casca} = \text{massa de polpa/massa de cascas} \quad (7)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização do mosto de banana

A Tabela 4 apresenta a caracterização físico-química do mosto de banana.

Tabela 4. Características físico-químicas do caldo de banana (*Musa cavendish*) utilizados nos 4 ensaios de fermentação.

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Sólidos Solúveis (°Brix) inicial	22,02	23,70	20,8	21,0
Densidade a 15°C	1,05	1,06	1,03	1,03
pH	5,21	4,60	5,00	5,00

De acordo com a Tabela 4, os sólidos solúveis variaram de 20,8°Brix a 23,7°Brix para os 4 ensaios. Os valores de sólidos solúveis obtidos indicam o grau de maturação da banana e o seu potencial para a produção de álcool durante a fermentação (ZOECKLEIN *et al.*, 2001).

Segundo Rankine (1997) 1 °Brix corresponde a 1 grama de açúcar por 100 mL de mosto. Na fermentação alcoólica uma molécula de glicose ($C_6H_{12}O_6$) é convertida em duas de etanol (C_2H_5OH) e mais duas de CO_2 . Estequiometricamente, o rendimento teórico da reação é de 0,511 g etanol (g glicose). Silva, *et al.* (2009) avaliaram a qualidade físico-química e sensorial de aguardentes de polpa de banana integral submetidas à hidrólise enzimática e os autores obtiveram valores de iniciais de 20°Brix.

Os valores obtidos da densidade do mosto na Tabela 4 variaram entre 1,03 e 1,06, próximos ao encontrado por Guimarães Filho (2003) para a banana da variedade nanicão e por Lara (2007) para a variedade prata, que foi de 1,06. A densidade do mosto serve como parâmetro de acompanhamento da fermentação, pois a glicose é mais densa que o etanol, assim pode-se determinar a conversão do substrato em produto (DE ÁVILLA, 2002).

A densidade da polpa de banana é 1,12, valor superior ao do mosto,

que possui densidade menor devido à diluição por água destilada ao realizar o seu preparo (PAULINO *et al.*, 2015).

De acordo com a Tabela 4, o pH inicial variou entre 4,60 e 5,21. Segundo Maia (2006) o mosto deve ser ajustado entre 4,0 e 5,0, valor do pH ótimo para o crescimento da levedura *S. cerevisiae*.

O pH interno da célula se mantém na faixa 5,8 a 6,9, seja qual for o valor do pH extracelular na faixa de 2 a 7. Entretanto, baixos valores de pH tornam o meio mais agressivo, uma vez que exigem das leveduras um maior desprendimento de energia na manutenção do pH interno, além de afetar as proteínas de transporte da membrana citoplasmática que ficam expostas ao meio externo. O pH do meio externo também afeta a velocidade de crescimento das leveduras, a qual atinge um máximo quando está próximo a 5 (MAIA, 1989).

Fermentações conduzidas em meios mais ácidos resultam em maiores rendimentos de álcool, pelo fato de restringir o crescimento do microrganismo ao mesmo tempo em que reduz a contaminação bacteriana, no entanto valores de pH maiores que 5,0 podem diminuir o rendimento em etanol (LIMA *et al.*, 2001).

Para este estudo determinou-se trabalhar com pH 4,5 e 5, pois em pH 4,5, há o favorecimento da formação de produto e diminuição da contaminação do mosto, já o pH 5 é o pH da fruta *in natura*, não havendo a necessidade de adição de reagente para aumentar ou diminuir este pH.

4.2 Estudo cinético da fermentação alcoólica

Para os 4 ensaios fermentativos foram realizados os seus respectivos estudos cinéticos e a influências das variáveis envolvidas no processo. As Figuras 6, 7, 8 e 9 indicam a variação de pH, substrato (S), biomassa (X) e produto (P), em relação ao tempo.

Segundo Silva *et al.* (2009), o controle das variáveis no processo de fermentação alcoólica para a produção de bebidas é necessário devido à sua influência sobre a qualidade do produto, sobre o rendimento e viabilidade do processo.

Na Figura 9 estão apresentados os resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a fermentação nas condições iniciais propostas para o ensaio 1.

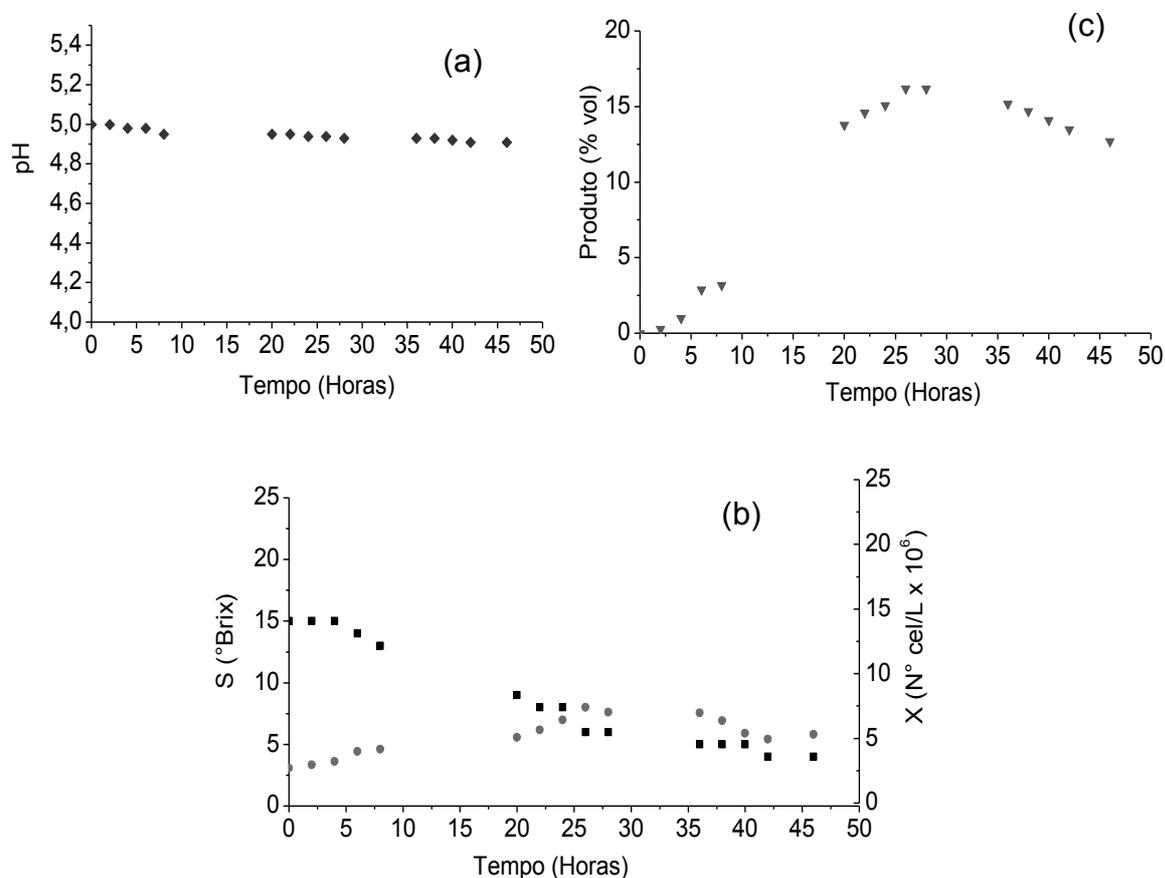


Figura 9. Resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a etapa de fermentação do mosto da banana nas condições iniciais propostas para o ensaio 1– pH 5, 15°Brix de substrato, temperatura de 32°C. (♦) pH ; (▼) Produto (%volume); (●) Biomassa (N°cel/mL); (■) Substrato (°Brix).

O tempo de fermentação do mosto da banana para o ensaio 1 foi de aproximadamente 48 horas.

As amostras para as análises foram retiradas a cada 2 horas. Não foi possível realizar o acompanhamento do processo entre 9 e 19 horas de fermentação, devido à impossibilidade de acesso ao prédio da universidade, visto que no período noturno, quando ocorreu esta fase, não é permitido o acesso de pessoas as dependências da mesma.

Na Figura 9(a) pode-se verificar que o pH do mosto não apresentou oscilação significativa durante as 48 horas de fermentação, chegando a um valor

de 4,91 no final do processo. A variação do pH inicial e final, segundo Bortolini *et.al.* (2001), é ocasionada pela rota da levedura na produção de ácidos orgânicos (lático, acético e succínico) o que caracterizou pequena produção destes ácidos durante a fermentação.

Essa queda também está relacionada com a atividade metabólica da levedura, pois a mesma absorve aminoácidos e excreta íons H^+ durante geração de ATP pela respiração (NEVES). Grandes variações no pH durante o processo não são desejáveis pois podem ocasionar estresse osmótico, conduzindo a um meio fermentativo inadequado (SCHMIDELL *et al.* 2001).

A Figura 9(b) apresenta os resultados da fermentação em relação ao substrato e biomassa. O substrato que iniciou em 15 °Brix passou a sofrer redução a partir da quarta hora de fermentação, reduzindo gradativamente até completar 40 horas, momento que se estabilizou em 4°Brix. Isso é decorrente do consumo (metabolismo) do substrato pela levedura, o qual atingiu aproximadamente 8×10^6 células/L em 26 horas de fermentação, pouco mais que o dobro da concentração inicial, sendo este o crescimento máximo atingido pelo microrganismo.

É pertinente observar que o substrato começa a decair a partir de 4 horas de fermentação, tempo em que a levedura está se adaptando ao mosto. Esse tempo de adaptação poderia ser diminuído ao se adaptar a levedura antes do início do processo, e introduzi-lá já na fase log. Isso acarretaria em um tempo menor de fermentação.

É perceptível que com o decorrer do processo fermentativo, à medida que a concentração de substrato diminui, a de biomassa aumenta, sendo essa uma característica de fermentação ideal (PARENTE, 2014).

Segundo Lima *et.al.*, (2001) mosto com elevadas concentrações de açúcares, acarretam estresse osmótico, reduz o crescimento das células, produzindo glicerol, levando a perda da viabilidade celular.

Parente (2014) produziu aguardente de abacaxi, utilizando concentração inicial de levedura de 6 g/L, obtendo 12,97 g/L ao fim do processo, dobrando a concentração de levedura, em 26 horas de fermentação.

A Figura 9(c) apresenta a formação do produto de interesse em torno de 26 horas, atingindo um valor máximo de 16,2 % volume. Ressalta-se que as células metabolizaram os açúcares presentes numa taxa constante de produção de álcool a partir da 6° hora de fermentação.

A rápida produção de etanol deve-se a elevada concentração de levedura no mosto, sendo possível observar que o microrganismo começa seu crescimento logo no início da fermentação. Ao se realizar o acompanhamento da fase Log, a qual ocorre o maior crescimento de microrganismos, é possível evidenciar a alta concentração de microrganismos bem como a rápida produção de álcool

É possível verificar que os resultados obtidos no ensaio 1, se assemelham aos obtidos no trabalho de Alvarenga (2014). A autora avaliou a cinética do fermentado alcoólico e acético de polpa e casca de abacaxi utilizando condições semelhantes, variando apenas o tempo de fermentação, que foi de 20 horas. Obteve-se teor alcoólico de 52,5 % vol, com rendimento de 79,18 % sobre o processo. Ao se avaliar o crescimento de biomassa, obteve-se 8,14 g/L, devido ao fato da fermentação ter sido conduzida em um menor espaço de tempo.

Na Figura 10 estão apresentados os resultados obtidos do pH, consumo do Substrato (S), crescimento da Biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a fermentação nas condições iniciais propostas para o ensaio 2, o qual foi conduzido a 30°C, pH de 4,5 e substrato (inicial) de 15°Brix.

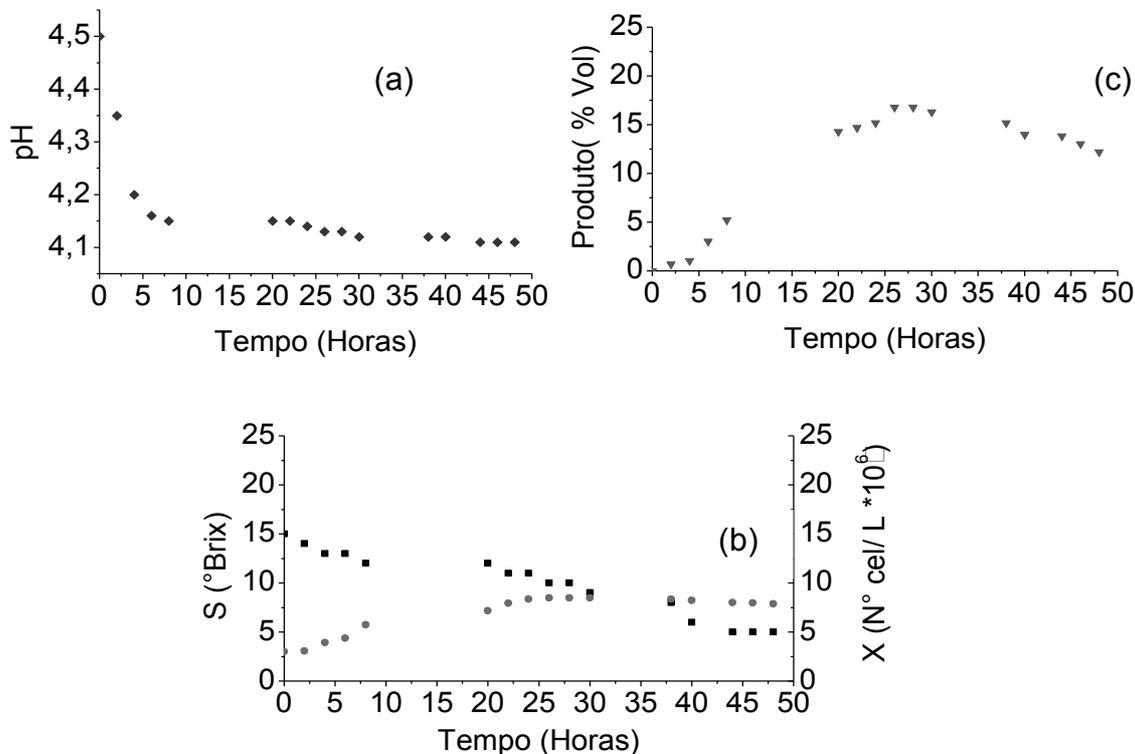


Figura 10. Resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a etapa de fermentação do mosto da banana nas condições iniciais propostas para o ensaio 2– pH 4,5, 15°Brix de substrato, temperatura de 32°C. (♦) pH ; (▼) Produto (%volume); (●) Biomassa (N° cel/mL); (■) Substrato (°Brix).

A Figura 10 é referente à fermentação 2, onde a Figura 10(a) expressa o valor de pH para o processo bem como suas oscilações. O pH inicial que era de 4,5 teve redução, caindo para 4,35 em duas horas e ao fim do processo encontrava-se em 4,11, porém apesar de sua ligeira queda o pH encontra-se dentro dos níveis esperados para o desenvolvimento da fermentação.

Em meios mais ácidos, o valor do pH cai rapidamente no início da fermentação, isso devido a atividade da levedura, que absorve aminoácidos, acumulando íons, excretando gás carbônico no meio e excretando íons H^+ durante a geração de ATP pela respiração (DE MORAIS, 1984).

Dadds e Martim (1973) consideram que o pH é um dos fatores mais importantes para o crescimento de microrganismos, podendo influenciar no número de total de células. Os autores ainda consideram que faixas de pH menores que 4,5 podem acarretar em um decréscimo de leveduras, podendo levar a morte de algumas delas

As Figuras ilustradas nas Figuras 10(b) e 10(c) respectivamente mostram o crescimento da biomassa e a formação de produto. A biomassa passou pela fase de dormência começando seu crescimento ao alcançar 6 horas de fermentação, obtendo seu maior desenvolvimento após 26 horas do início do processo quando chegou a $8,46 \times 10^6$ células/L, tempo esse que houve a maior obtenção de produto, sendo 16,8 %volume.

Após 44 horas de fermentação, o substrato atingiu 5,2 °Brix, este valor permaneceu estável por mais 2 medições consecutivas, sendo que ao chegar a 48 horas foi caracterizada o fim do processo fermentativo.

Quando comparado ao ensaio 1, neste ensaio o substrato começou a ser consumido logo no início da fermentação, isso devido ao pH mais ácido, pois o pH mais alcalino pode gerar inibição do microrganismo no consumo do substrato, fazendo com que aumente a fase de adaptação da levedura ao meio retardando o consumo do substrato (SCMIDELL *et al.* 2001).

Parente (2014) realizou a produção de aguardente de abacaxi nas mesmas condições que este ensaio, observando o rápido declínio de substrato nas primeiras 6 horas de fermentação, dobrando a concentração de biomassa em 25 horas de fermentação, obtendo teor alcoólico próximo ao encontrado neste ensaio (12,9 %volume).

Na Figura 11 estão apresentados os resultados obtidos do pH, consumo do Substrato (S), crescimento da Biomassa (X) e formação do

etanol (P) durante a fermentação nas condições iniciais propostas para o ensaio 3, o qual foi conduzido a 30°C, pH de 5 e substrato (inicial) de 21°Brix.

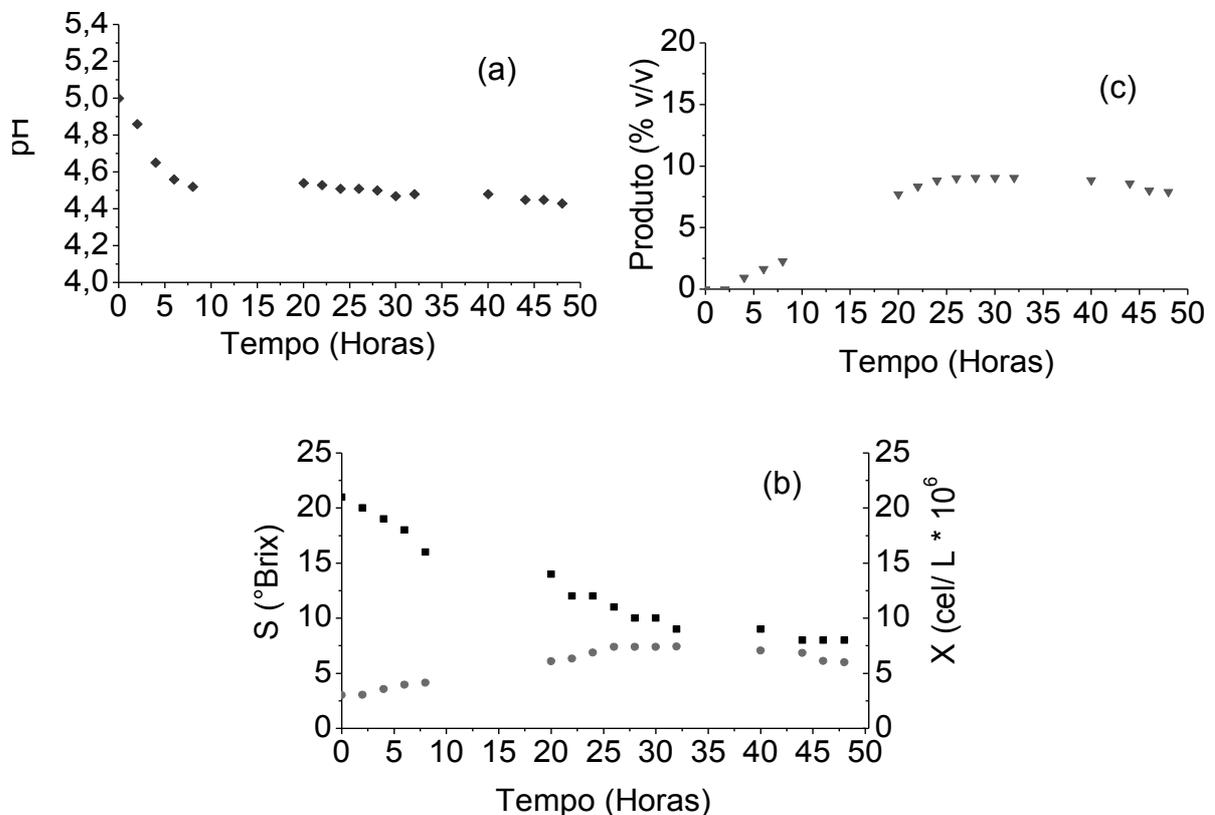


Figura 11. Resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a etapa de fermentação do mosto da banana nas condições iniciais propostas para o ensaio 3– pH,5,0, 21°Brix de substrato, temperatura de 32°C. (♦) pH ; (▼) Produto (%volume); (●) Biomassa (N°cel/L x 10⁶); (■) Substrato (°Brix).

Como é possível observar na Figura 11(a) o pH inicial que era de 5 teve queda acentuada até a 20° hora de fermentação, chegando a 4,54, onde até a 36° hora não teve significativa variação, permanecendo em 4,48. A partir da 40° hora, o pH teve novo decaimento chegando ao fim do processo em 4,15.

É possível observar que em relação ao ensaio 1, que possui o mesmo valor inicial de pH, neste ensaio o pH apresentou maior decaimento, possivelmente pelo maior estresse osmótico da levedura, já que a concentração de substrato utilizada é maior do que a considerada ideal para a *S. cerevisiae* devido à quantidade e a força de ácidos presentes no meio

(Chesini, 2005). Pode-se então concluir que neste ensaio obteve-se maior formação de ácidos.

Os resultados obtidos durante o ensaio 3 para a produção de biomassa, consumo de substrato e formação de produto estão representados na Figura 11(b) e 11(c). Após 4 horas de fermentação começa a ocorrer a queda do substrato, que inicialmente era de 21°Brix e finaliza em 8°Brix, proporcionalmente ocorre o aumento do produto.

As condições oferecidas ao meio são favoráveis para o desenvolvimento de uma fermentação completa, porém 21°Brix é considerado alta concentração de substrato para a *S. cerevisiae*. Isso pode conduzir a uma fermentação lenta e incompleta, quando o substrato não é totalmente consumida pela levedura.

É perceptível o aumento da biomassa que alcança seu ponto máximo em 26 horas de fermentação, resultando em $7,38 \times 10^6$ células/L. A biomassa permaneceu durante 5 horas na fase lag, a partir da 6ª hora teve crescimento lento até atingir seu ponto máximo, sendo essa fase caracterizada como a fase estacionária do processo. Isso também é decorrente do elevado teor de substrato no meio, explicando então o menor desenvolvimento de biomassa quando comparado aos ensaios 1 e 2.

O produto proveniente do metabolismo da levedura começou a ser formado com 6 horas de fermentação, onde às 24 horas houve a máxima produção de etanol, sendo esta de 9,03 %volumen.

O menor rendimento do processo quando se comparam aos ensaios 1 e 2, é devido a alta concentração de substrato no mosto já que este é um fator limitante para a produção de álcool, pois concentrações elevadas resultam em perdas da atividade de transporte de açúcar, produzindo menos etanol (MURICO, 1994).

Cerqueira (2013) realizou o processo de fermentação para obtenção de etanol com altas concentrações de açúcar (25 °Brix). O autor relata que essa elevada concentração ocasiona consideráveis impactos sobre o processo devido à pressão osmótica, pois para a concentração de 25 °Brix, a produção de etanol máxima foi de 14 % volume, e pela estequiometria da reação o máximo teórico teria sido 16,2 % volume.

O mesmo autor realizou a análise para biomassa com mosto suplementado com sulfito e sem a suplementação a fim de obter melhor

rendimento do processo. O mosto suplementado propiciou maior produção de biomassa, alcançando concentração final de 7,0 g/L, porém a produção de etanol para ambos não teve alteração significativa.

Na Figura 12 estão apresentados os resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a fermentação nas condições iniciais propostas para o ensaio 4, que foi conduzido a 30°C, pH de 4,5 e substrato de 21°Brix.

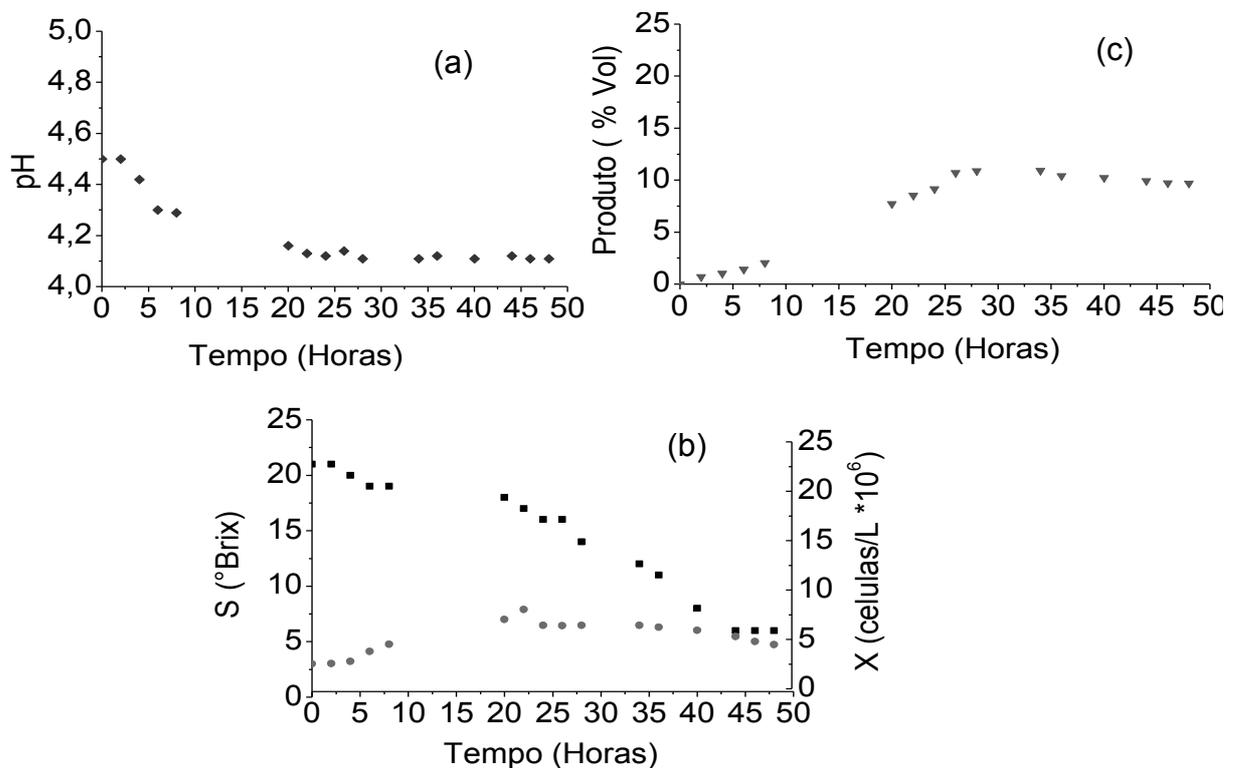


Figura 12. Resultados obtidos do pH, consumo do substrato (S), crescimento da biomassa (X) e formação do etanol (P) durante a etapa de fermentação do mosto da banana nas condições iniciais propostas para o ensaio 4– pH 4,5, 21°Brix de substrato, temperatura de 32°C. (♦) pH ; (▼) Produto (%volume); (●) Biomassa (10^6 cel/L); (■) Substrato (°Brix).

A Figura 12 é referente à fermentação 4, e a Figura 12(a) expressa o valor de pH para o processo bem como suas oscilações. O pH inicial que era de 4,5 teve redução, caindo para 4,29 em oito horas e ao fim do processo encontrava-se em 4,11, porém apesar de sua ligeira queda o pH encontra-se dentro dos níveis esperados para o desenvolvimento da fermentação.

Neste ensaio o substrato inicial que era de 21 °Brix, na 8ª hora encontrava-se em 19°Brix, chegando ao final da fermentação em 6°Brix. Esse lento consumo do substrato é característico de concentrações elevadas de açúcar no mosto, acarretando em metabolismo lento da levedura.

É possível observar que a levedura utiliza 6 horas para se adaptar ao meio, a partir de 7 horas de fermentação a mesma inicia o metabolismo para o consumo do substrato que começa a decair. A levedura se multiplicou lentamente. Após 20 horas de fermentação, a mesma ainda encontrava-se na fase log, onde se estendeu até as 26 horas, momento em que se estabilizou, obtendo $6,46 \times 10^6$ células/L.

Em 26 horas de fermentação houve a produção máxima de etanol de 10,72 % volume. Este valor é um pouco maior que o obtido no ensaio 3 (9,03% volume) utilizando a mesma concentração de substrato (21°Brix).

Esta diferença demonstra a influência do pH, onde valores mais ácidos favorecem a fermentação, aumentando a produção de etanol e biomassa (BONASSA *et al.*, 2013).

A Figura 13 representa os resultados obtidos para o produto durante os 4 ensaios fermentativos.

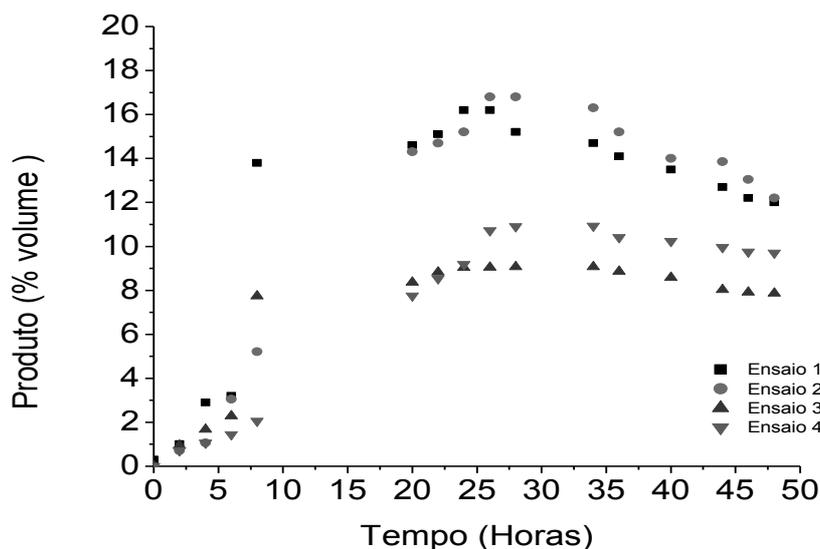


Figura 13. Comparativo da formação de produto durante os quatro ensaios fermentativos

É possível observar que o ensaio 2 obteve a maior produção de álcool, isso devido as condições utilizadas serem adequadas para a levedura

Saccharomyces cerevisiae (pH 4,5 e 15°Brix). O ensaio 3 produziu menor concentração de álcool devido a inibição pelo substrato, pois a concentração de substrato (21°Brix) é demasiado para a levedura

A Tabela 5 apresenta os parâmetros iniciais e finais utilizados para os quatro ensaios, sendo possível verificar suas variações.

Tabela 5. Parâmetros iniciais e finais monitorados durante os quatro ensaios fermentativos

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Temperatura °C (inicial)	32	30	32	30
Temperatura °C (final)	32	31	31	31
Substrato °Brix (inicial)	15	15	21	21
Substrato °Brix (final)	4	5,2	8	6
pH (inicial)	5,0	4,5	5,0	4,5
pH (final)	4,91	4,11	4,15	4,11
Biomassa cel/L x 10 ⁶ (inicial)	3	3	3	3
Biomassa cel/L x 10 ⁶ (final)	8	8,46	7,38	6,46
Produto % volume (inicial)	0	0	0	0
Produto % volume (final)	16,20	16,80	9,03	10,72

4.3 Avaliação dos parâmetros cinéticos e rendimento da matéria-prima

Através da cinética de fermentação, a partir dos resultados obtidos, calculou-se o rendimento (%), a produtividade em (g/L.h⁻¹), ($Y_{p/s}$), rendimento em biomassa e ($Y_{x/s}$) rendimento em substrato, através das equações apresentadas no item 3.4.2. Na Tabela 5 estão apresentados os resultados dos parâmetros cinéticos calculados nos diferentes ensaios.

Tabela 6. Resultados do rendimento (%), produtividade, ($Y_{p/s}$) e ($Y_{x/s}$) para os 4 ensaios fermentativos do caldo de banana.

Ensaio	Rendimento (%)	Produtividade (g/L.h ⁻¹)	$Y_{p/s}$	$Y_{x/s}$
1	83,35	8,41	0,37	0,054
2	84,36	8,52	0,41	0,092
3	73,30	7,22	0,27	0,038
4	74,77	7,53	0,24	0,037

Observando a Tabela 6 é possível observar que os ensaios 1 e 2 obtiveram rendimento em produto de 83,35 % e 84,26 % respectivamente, e para os ensaios 3 e 4 foram de 73,30 % e 74,77 %. Os resultados inferiores nos ensaios 3 e 4 deve-se a concentração de substrato utilizada (21°Brix) considerada alta para a *S. cerevisiae*. Isso pode ter causado estresse osmótico na levedura, retardando seu metabolismo e diminuindo o rendimento do processo, bem como sua produtividade, o que reflete em todos os parâmetros do processo.

Ao confrontar os resultados obtidos com os encontrados por Parente (2014) que produziu aguardente de abacaxi, nota-se que os ensaios 1 e 2 possuíram rendimento superior ao obtido por essa autora (81,24%), assim como a produtividade.

O rendimento em biomassa ($Y_{x/s}$) para os ensaios, foi inferior em relação à aguardente de abacaxi (0,072) com exceção do ensaio 2. Assim como o rendimento de produto com relação ao substrato ($Y_{p/s}$), (0,413), essa grande diferença pode ser atribuída a fermentações incompletas, uma vez que nos 4 ensaios ainda restaram substrato residual (CERQUEIRA, 2013).

Rocha (2008) obteve rendimento de 88% e produtividade de 1,19 g/L.h⁻¹ e $Y_{p/s}$ igual a 0,45, para a produção de aguardente a partir do fruto da palma forrageira, sendo estes parâmetros superiores aos encontrados nos 4 ensaios presentes. O autor considera que por apresentar alta eficiência, é viável a utilização do fruto para a produção de aguardente.

Quando comparados estes resultados ao obtido por Carmo *et al.*, (2012), que produziu aguardente a partir do umbu, é possível observar que estes foram superiores, uma vez que os autores obtiveram produtividade de

1,55 g/L.h⁻¹ para a produção do fermentado de Umbu.

Os ensaios 1 e 2 apresentaram maiores rendimentos, devido as variáveis (°Brix e pH) serem condizentes com o encontrado na literatura para a *S. cerevisiae*, pois estes favorecem a fermentação. Os ensaio 3 e 4, apresentaram menores rendimentos, possivelmente pela alta concentração de substrato (21°Brix) presente no meio.

Na Tabela 7 encontram-se as pesagens e o rendimento de polpa e casca além da relação polpa/casca para a matéria-prima utilizada em cada fermentação. Esses parâmetros foram determinados através das Equações (6) e (7) que constam no item 3.4.3, respectivamente.

O rendimento de polpa de uma fruta é considerado como uma característica que confere qualidade a mesma, principalmente quando estas são destinadas para a produção de outros produtos (PARENTE, 2014).

Tabela 7. Dados referentes às pesagens das matérias-primas e o rendimento polpa/casca em cada fermentação.

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Massa dos frutos (kg)	18,39	16,30	12,15	12,75
Massa de polpa (kg)	12,50	11,75	7,15	7,91
Massa das cascas (kg)	5,10	3,95	4,30	4,05
Rendimento de polpa (%)	68,00	72,1	58,85	62,04
Rendimento das cascas (%)	27,75	24,25	35,40	31,75
Relação polpa/casca	2,45	2,97	1,65	1,95

De acordo com a Tabela 7 os frutos utilizadas no ensaio 2 foram as que apresentaram maior rendimento de polpa, sendo 72,1 % de rendimento, seguidas pelas bananas da fermentação 1 com 68,00 % de rendimento de polpa, bananas da fermentação 4 com 62,04 % de rendimento e fermentação 3 com 58,85 % de rendimento de polpa.

Essa diferença entre o rendimento dos frutos é devido a necessidade em retirar partes que não poderiam ser consumidas, uma vez que os frutos encontravam-se em elevado grau de maturação.

O rendimento de polpa é uma característica importante para a

indústria, pois frutos com alto rendimento de polpa tendem a dar maior rendimento no processamento de produtos industrializados, podendo gerar maior lucro para a empresa produtora (DE JESUS, 2003).

Os resultados obtidos nos ensaios 1 e 2 são semelhantes ao encontrado por De Jesus (2003), o mesmo avaliou o rendimento de polpa durante o processamento de banana-passa utilizando diferentes variedades de banana. Para a banana nanica o mesmo obteve rendimento de polpa de 69,83 %.

A relação polpa/casca para os 4 ensaios encontram-se dentro do que é esperado para a banana no estágio de maturação 7, o que foi utilizado nos experimentos. As fermentações 3 e 4, possuem relação polpa/casca de 1,65 e 1,95 respectivamente, valores próximos ao encontrado por Guimarães Filho (2003), que observou uma relação de 1,72, e superiores ao encontrado por Teixeira (2005) que obteve 1,58.

Chitarra e Santos (1998), afirmam que os valores normais são acima de 2, estando as bananas utilizadas nos experimentos 1 e 2 dentro do padrão. Essas diferenças podem ser explicadas devido às possíveis variações naturais ocorridas no fruto e pela possível absorção de água pela casca, uma vez que as mesmas foram lavadas antes da pesagem.

No período de pós-colheita do fruto, há um aumento de peso da polpa devido à absorção de água proveniente da casca, ocorrendo à diminuição de seu peso, caracterizando o amadurecimento da fruta, sendo esta relação polpa/casca, segundo Bleinroth (1990) um índice confiável para se observar o grau de maturação da banana.

Contudo é possível afirmar que a banana possui bom rendimento para a produção de aguardente, uma vez que seu alto grau de maturação favorece a fermentação alcoólica. Através dos resultados obtidos para a relação polpa/casca é possível verificar que os frutos encontravam-se no estágio de maturação adequado para sua utilização na produção de aguardente.

4.4 Caracterização físico-química da aguardente de banana

Após a fermentação, o mosto fermentado passou pelo processo de

filtração, sedimentação e destilação. Essa última etapa tem por função separar, selecionar e concentração os componentes oriundos da fermentação, assim sendo a operação responsável pela obtenção do produto final.

A caracterização físico-química da aguardente de banana (*Musa cavendish*) foi realizada a fim de comparar com a legislação brasileira e verificar se a mesma possui a qualidade necessária para consumo. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados das avaliações físico-químicas dos 4 ensaios para a aguardente de banana (*Musa cavendish*).

Ensaio	Graduação alcoólica ¹	Acidez Total ²	Ésteres ³	Extrato Seco ⁴
Legislação	36 - 54	≥ 4	≤ 0,2	≥ 0 e ≤ 6
1	51,2	4,17	0,17	0,06
2	51,8	4,24	0,19	0,08
3	43,9	3,74	0,09	0,03
4	45,7	3,12	0,08	0,05

¹ Graduação alcoólica, expressas em (% vol) a 20°C; ² Acidez Total expressa em g/100mL de ácido acético; ³ Ésteres, expressos em g/100mL de álcool anidro; ⁴ Extrato seco, expressos em g/L.

Pela Tabela 8 verifica-se que as 4 aguardentes de banana obtidas estão dentro do especificado pela legislação brasileira quanto ao teor alcoólico. No artigo 57 do DECRETO Nº 6.871, DE 4 DE JUNHO DE 2009, está regulamentado que aguardente de fruta é a bebida com graduação alcoólica de trinta e seis a cinquenta e quatro por cento em volume, a 20°C (MAPA, 2009).

As aguardentes 1 e 2 apresentaram acidez de 4,17 e 4,24, respectivamente, enquanto as aguardentes 3 e 4 apresentaram acidez de 3,74 e 3,12, encontrando-se abaixo do exigido pela legislação.

Segundo Chaves e Pova (1992) a acidez tende a aumentar com o envelhecimento da aguardente, o que é uma característica de grande importância, pois os ácidos presentes reagem com os alcoóis, formando ésteres responsáveis pelo aroma da aguardente.

É possível verificar que a quantidade de ésteres para as 4 aguardentes encontram-se dentro da legislação, estando entre 0,08 e 0,19. De acordo com a legislação brasileira, o valor máximo permitido de ésteres em aguardente é

de 0,2 mg/100 mL de álcool anidro.

O aroma da aguardente é proveniente dos ésteres presentes, sendo o éster acetato de etila, proveniente da reação de pequenas quantidades de etanol e ácido acético, o maior responsável por esse aroma.

O teor de extrato seco para as 4 aguardentes encontram-se entre 0,03 e 0,08, estando dentro do permitido pela legislação em vigor.

Guimarães Filho (2003) obteve 0,06 g/L de extrato seco, valor igual ao obtido para o ensaio 1 e bastante próximo ao obtidos para os ensaios 2, 3 e 4.

Extrato seco é o produto resultante da evaporação dos constituintes voláteis dos destilados. Este resíduo é constituído de material não volátil e compostos inorgânicos das bebidas recém-destiladas e envelhecidas (CAMPOS, 2000).

Durante o envelhecimento da aguardente existe a tendência de se aumentar a concentração de extrato seco, isso ocorre devido à degradação da lignina pelo etanol em compostos aromáticos como a vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído. Além da extração destes compostos pelo álcool etílico, ocorrem ainda alterações na lignina em decorrência de oxidações e etanolise, as quais determinam denominações como "vanila", "adocicado" e "amadeirado" no destilado (PIGGOTT e CONNER, 2003).

5 CONCLUSÃO

Através do presente estudo pode-se concluir que:

- A banana *Musa cavendish*, conhecida popularmente como nanica, possui uma boa fonte de substrato para a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, uma vez que em elevado grau de maturação, a mesma apresenta grande concentração de açúcares;
- A melhor condição de fermentação foi a realizada para o ensaio 2, a qual produziu a maior quantidade de álcool (51,2% volume a 20°C), obtendo maior conversão de substrato em produto (84,36%), e maior produtividade (8,52 g/L.h⁻¹).
- É possível observar que o pH não alterou significativamente a fermentação quando comparada com a fermentação que possuía igual concentração de substrato.
- Os mostos com elevada concentração de substrato apresentaram menor rendimento se comparado com concentrações menores de substrato, devido a fermentações incompletas.
- Os parâmetros cinéticos ($Y_{x/s}$, $Y_{p/s}$) indicaram a eficiência da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a qual apresentou conversão em produto satisfatória.
- As análises físico-químicas realizadas para as aguardentes mostram que estas estão dentro da legislação vigente (MAPA, 2009).
- É possível a produção de aguardente de banana em maior escala, visto a necessidade do aproveitamento da fruta, e na boa produtividade alcançada durante os processos estudados.

6 SUGESTÕES

- Realizar análises cromatográficas para a determinação de metanol e compostos secundários.
- Realizar novas fermentações nas mesmas condições, porém com adição de enzimas a fim de se verificar um possível aumento de rendimento.
- Testar o rendimento dos processos utilizando outras leveduras e também outras condições.

7 REFERENCIAS

Adolf Lutz. **Métodos Físico-Químicos Para Análise de Alimentos**. 4ªEd. São Paulo. P411-464. Instituto Adolf Lutz, 2008.

ALCARDE, André R.; SOUZA, Paula A.; BOSQUEIRO, Ângelo C.; BELLUCO, André. E. S. **Perfil Físico-Químico De Aguardentes De Cana-De-Açúcar Produzidas Por Metodologias De Dupla Destilação Em Alambiques Simples**. Alim. Nutr., Araraquara, v. 20, n. 3, p. 499-506, jul./set. 2009.

ALVARENGA, LETICIA Mendonça. **Fermentados Alcoólico E Acético De Polpa E Casca De Abacaxi (*Ananas Comosus (L.) Merrill*): Cinética Das Fermentações E Caracterização Dos Produtos**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

ALVARENGA, Raquel Mendonça. **Avaliação De Parâmetros Da Fermentação E Da Destilação Para Adequação Dos Teores De Compostos Secundários Em Aguardente De Banana**. 155f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos).-Curso de pós-graduação em Ciência de Alimentos- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

AMORIM, H.V. **Fermentação Alcoolica Ciência e Tecnologia**. Piracicaba. Fermentec, 2005. P. 448.

AQUARONE, Eugênio; Borzani, Walter; LIMA, Urgel De A.. BASSO, Luiz Carlos **Biotecnologia Na Produção De Alimentos. Biotecnologia Industrial**. V.4, pag 152. Editora Edgard Blucher LTDA.

ARRUDA, Adriana R.; DE CASIMIRO, Antônio R. S.; GARRUTI Deborah Dos S.; DE ABREU Fernando A. P.. **Processamento De Bebida Fermentada De Banana**. Revista Ciência Agronômica, Vol. 34, N°.2. 2003.

BASSO, Luis Carlos. **Fisiologia E Ecologia Da Fermentação Alcoólica**. In: FAPESP. Workshop do Projeto Diretrizes de Políticas Públicas para a Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo: Produção de Etanol. Lorena, 2006. Disponível em <<http://www.apta.sp.gov.br/cana/>> Acesso em 07 dez 2014.

BASSO, Luiz.Carlos. **Fisiologia E Ecologia Da Fermentação Alcoólica. I Workshop Tecnológico Sobre Produção De Etanol**. ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Brasil, 2004.

BASSO, L.C. **Fatores que Afetam a Formação de Ácidos Orgânicos Bem Como Outros Parâmetros da Fermentação Alcoólica** (Tese de Doutorado). ESALQ. Piracicaba, 1994.

BLEINROTH, E.W. Matéria-prima. In: SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Agricultura - Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. **Banana: Da Cultura Ao Processamento E Comercialização**. 2.ed. Campinas: ITAL, 1990. p.133-196. (Série Frutas Tropicais, 3).

BONASSA, Gabriela, TELEKEN Joel G., SCHNEIDER Lara T., DE OLIVEIRA, Carlos de Jesus. **Análise da Influência do pH e da Temperatura no Processo de Fermentação de Caldo de Cana**. III Encontro Paranaense De Engenharia E Ciência. 2013.

CAMPOS, J. O. S. **Emprego De Extratos Aromáticos De Madeiras Regionais Como Agentes De Envelhecimento Acelerado De Aguardentes**. 120 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2000.

CARDENETTE, Giselli Helena Lima. **Produtos Derivados De Banana Verde (*Musa Ssp.*) E Sua Influência Na Tolerância À Glicose E Na Fermentação Colônica**. 2006. 175 f. Tese (Doutorado em Nutrição Experimental). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CARDOSO, M. G. **Produção De Aguardente De Cana-De-Açúcar**. In: Lavras; Editora UFLA, 2001. 264p.

CARMO, S. K. S.; SÁ, S. K. C. V. Z.; ALMEIDA, M. M.; **Estudo Da Produção E Caracterização Do Fermentado De Umbu A Partir De Sua Polpa Comercial**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.14, n.1, p.15-20, 2012.

CERQUEIRA, Diogo Patrini. **Fermentação Alcoólica De Mosto Com Alta Concentração de Açúcar**. 66f. Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2013.

CHAVES, J. B. P.; PÓVOA, M. E. B. A qualidade da aguardente de cana de açúcar. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente De Cana: Produção E Qualidade**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p. 93-132.

CHITARRA. **PÓS- COLHEITA DE FRUTOS E HORTALIÇAS**. 2000. 68f. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000.

CHESINI. Daniela Agatti. **Degradação Do Ácido Málico Durante A Fermentação Alcoólica Da Uva Chardonnay Por Três Diferentes Leveduras Da Espécie Saccharomyces Cerevisiae**. 27f. Trabalho de estágio. Centro Federal De Educação Tecnologica De Bento Gonçalves. Bento Gonçalves, 2005.

DA SILVA, M. B. de Lima; CHAVES, J. B. Paes; LELIS, Viviane G.; ALVARENGA, Letícia M; ZUIM, Diana R; DA SILVA Paulo Henrique A. **Qualidade Físico-Química E Sensorial De Aguardentes De Polpa De Banana E Banana Integral Submetidas À Hidrólise Enzimática**. Alim. Nutr., Araraquara. v.20, n.2, p. 217-221, abr./jun. 2009.

DE ÁVILA, L. D. **Metodologias Analíticas Físico-químicas. Laboratório de Enologia**. Bento Gonçalves, CEFET, 2002.

DE JESUS, SANDRA CERQUEIRA. **Processamento De Banana-Passa Utilizando Frutos De Diferentes Genótipos De Bananeira (Musa Spp.)**. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal Da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, 2003.

DE MORAIS, S.M.F.; **Tolerância Alcoólica, Atividade Fermentativa E Permeabilidade Celular Em Saccharomyces cerevisiae**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1984.

DELECAVE, Bruno. **A História Da Banana**. Disponível em <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1075&sid=7>> Acesso em 04 de out de 2014

DIAS, Marina Oliveira de Souza. **Simulação Do Processo De Produção De Etanol A Partir Do Açúcar E Do Bagaço, Visando A Integração Do Processo E A Maximização Da Produção De Energia E Excedentes Do Bagaço**. 2008. 253 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, 2008.

EMBRAPA. **Sistema de Produção da Bananeira Irrigada**. 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananeiraIrrigada/socioeconomia.htm>> Acesso em: 02 fev de 2015.

EMBRAPA. **Banana. Comercialização.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Livro_Banana_Cap_14IDQWEjUgsAUH.pdf> Acesso em 04 abr de 2014.

FAO. **FAOSTAT.** DatabaseResult: banco de dados. Disponível em: <<http://www.fao.org/>> Acesso em: 20 ago. 2015.

FERNANDES, A.C.; **Cálculos Na Agroindústria De Cana-De-Açúcar, 2ed.** Piracicaba, STAB- Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2003.

GUIMARÃES FILHO, Oswaldo. **Avaliação Da Produção Artesanal Da Aguardente De Banana Utilizando *Saccharomyces cerevisiae* CA-1174.** 54 2003. 83 F. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2003.

HAENDLER, L. **Produits De Transformation De Labanane.** Fruits, Paris, v.21, n.7, p.329-342, 1966

HAMMOND, Bruce C., VICINI, John L, HARTNELL, Cary F.; NAYLOR MARK W., KNIGHT, CHRISTOPHER D., ROBINSON, EDWIN H. ROY L. **The Feeding Value of Soybeans Fed to Rats, Chickens, Catfish and Dairy Cattle Is Not Altered by Genetic Incorporation of Glyphosate Tolerance.** American Institute of Nutrition. 1996.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola E Mundial, Culturas Temporárias E Permanentes (2014).** Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/PAM2014_Publicacao_completa.pdf> Acesso em: 11 ago. 2015.

JAIGOBIND, Allan George; DO AMARAL, Lucia; JAISINGH Sammay. **Processamento da Banana. Dossiê Técnico.** Instituto de Tecnologia do Paraná. Disponível em: < <http://www.respostatecnica.org.br/dossietecnico/downloadsDT/MTI5>> Acesso em: 03 fev de 2015.

LARA, Carla Alves. **Produção Da Aguardente De Banana: Emprego De Enzimas Pectinolíticas E Efeito De Fontes De Nitrogênio E Quantidade De Inócula Na Formação De Alcoóis Superiores.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

LIMA, Urgel De A. AQUARONE, Eugênio; Borzani, Walter;.. BASSO, Luiz Carlos **Engenharia Bioquímica. Biotecnologia Industrial**. V.2, pag 99. Editora Edgard Blucher LTDA.

MAIA, A.B.R. **Tecnologia da Cachaca de Alambique**. SEBRAE-MG. p129. 2006.

MAIA, A.B.R.A. **Fundamentos de Fermentação Alcoólica**. 1989. 129f. (Apostila do Curso de Engenharia Química). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1989.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **DECRETO Nº 6.871, DE 4 DE JUNHO DE 2009**. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1265102>> Acesso em 24 de junho de 2015

MATSUURA, Fernando César A. U.; COSTA, Jane I. P.; FOLLEGATI, Marília I. **Da S.Marketing De Banana: Preferências Do Consumidor Quanto Aos Atributos De Qualidade Dos Frutos**. Revista Brasileira de Fruticultura. vol.26 no.1 Jaboticabal Apr. 2004

MENDES, B. P. **Análise Das Leveduras Do Mosto Da Fermentação Alcoólica De Alambiques Artesanais Produtores De Cachaça Em Pernambuco**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008

MURICO, J.C. **Relationship Between Sugar Uptake Kinet Cs And Total Sugar Consumption In Different Industrial *Saccharomyces Cerevisiae* Strains During Alcoholic Fermentation**. Biotechnol. Lett, v.16, n.1, p. 89-94, 1994.

NEVES, Luis Carlos Martins. **Revisão Bibliográfica**.

PARENTE, Gisleânia Dourado Landim. **Cinética Da Fermentação E Da Destilação NA Produção De Aguardente De Abacaxi**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, Pernambuco, 2014.

PAULINO, Ademar Da S.; FERRO, José H.de A.; MÉLO, Diogo de B. M.. **Utilização De Frutos De Banana "Prata" Em Estádio Avançado De Maturação Para Produção Artesanal De Aguardente**. 2015. 62ª Reunião Anual da SBPC.

PIGGOTT, J. R.; CONNER, J. M. Whiskies. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R.

(Ed.). **Fermented Beverage Production**. 2 ed. New York: Klumer Academic/Plenum Publishers, 2003. cap.11, p. 239-262.

RANKINE, B. Manual práctico de enología. 3ª ed. Zaragoza :Acribia S/A, 1997.
RIBEIRO, J.C.G.M. **Fabricação Artesanal de Cachaça Mineira**. 2 ed. Belo Horizonte: O Lutador, p.223, 2002.

RIBEIRO, José C. G. M. **Fabricação da cachaça artesanal mineira**. 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2002.

ROCHA, J. L. V. **Fisiologia pós-colheita de banana**. In: **Simpósio Brasileiro sobre bananicultura**. 1., 1984, Jaboticabal, SP. **Anais...** Jaboticabal: FCAVJ, 1984. p. 353-367.

ROCHA, Aleksandra Silva. **Produção E Avaliação Físico-Química Da Aguardente Do Fruto Da Palma Forrageira (Opuntia Ficus – Indica Mill)**.76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal De Campina Grande, 2008.

ROSSO, Sibeles Recco **Aproveitamento Do Resíduo Da Agroindústria Da Banana: Caracterização Química E Levantamento De Parâmetros Termodinâmicos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2009.

SANTOS, J. E. da S.; CHITARRA, M. I. **Relação entre a idade do cacho de banana 'Prata' à colheita e a qualidade dos frutos após a colheita**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1475-1480, set. 1998.

SCMIDELL, W.; LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. **Biotechnologia Industrial: Engenharia Bioquímica**. São Paulo - SP, Blücher, v.2, 560 p., 2001.

SEBRAE- Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas, **BANANA** 2008. Disponível em <[http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8E2336FF6093AD96832574DC0045023C/\\$File/NT0003904A.pdf](http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8E2336FF6093AD96832574DC0045023C/$File/NT0003904A.pdf)> Acesso em 27 out 2014.

SILVA, Evaneide Ferreira. **Obtenção De Aguardente De Banana Em Micro Escala: Caracterização Do Processo E Do Produto**. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2004.

Souza, Crisla Serra. **Avaliação da Produção de Etanol em Temperaturas Elevadas Por Uma Linhagem de *Saccharomyces cerevisiae***. 136f. Tese (Doutorado em Biotecnologia). Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/Instituto Butantan/IPT, São Paulo, 2009.

TACO. **Tabela Brasileira De Composição De Alimentos**. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf> Acesso em 18 out 2014.

TEIXEIRA, Luciano J. Q.; RAMOS, Afonso M.; CHAVES, José B. P.; Da Silva Paulo Henrique A.; STRINGHETA, Paulo César. **Avaliação Tecnológica Da Extração Alcoólica No Processamento De Licor De Banana**. B.CEPPA, Curitiba.V.23, N°2. P 329-346. Jul/dez 2005.

TOSETTO, G. M.; ANDRIETTA, S. R. **Influência Da Matéria Prima No Comportamento Cinético De Levedura Na Produção De Etanol**. Apresentado no VII Seminário on EnzymaticHidrolysis of Biomass-SHEB, Maringá, 2002

VENTURINI, F. Waldemar Gastoni. **Bebidas alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, p 49-52 2010.

ZOECKLEIN, B. W; FUGELSANG, K. C.; GUMP, B. H.; NURY, F. S. **Análisis Y Producción De Vino**. Zaragoza: Editorial Acribia S.A..p 600,2001.