



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**Estudo da utilização do Caqui (*Diospyros kaki L.*)
como biomassa para produção de Etanol**

**Autor: Paula Cristina Gurgel
Orientadora: Prof.^a Dra. Roseany de V. V. Lopes
Co-Orientadora: Prof.^a Dra. Juliana Petrocchi
Rodrigues**

**Brasília, DF
2017**



PAULA CRISTINA GURGEL

**Estudo da utilização do Caqui (*Diospyros kaki L.*) como biomassa para
produção de Etanol**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof.^a Dra. Roseany V. V. Lopes

Co-Orientadora: Prof.^a Dra. Juliana Petrocchi Rodrigues

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação

Gurgel, Paula Cristina.

Estudo da utilização do Caqui (*Diospyros kaki L.*) como biomassa para produção de Etanol/ Paula Cristina Gurgel. Brasília: UnB, 2017. 60p.: il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2017. Orientação: Prof.^a Dra.
Roseany V.V. Lopes.

1. Etanol. 2. Caqui. 3. Biocombustível.
I. Lopes, Roseany de Vasconcelos Vieira. II. Doutora.

CDU Classificação



**Estudo da utilização do Caqui (*Diospyros kaki L.*) como biomassa para
produção de Etanol**

Paula Cristina Gurgel

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 21/06/2017, apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof.^a Dra. Roseany V. V. Lopes, UnB/ FGA
Orientadora

Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof.^a Dra. Patrícia Regina Sobral Braga, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

Esse trabalho é dedicado à minha mãe, irmã, dinda, e namorado, que são o meu motivo de continuar seguindo em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe por sempre ter estado ao meu lado, mostrando o significado de amor incondicional, sendo minha fonte de força e apoio.

À toda minha família, em especial a minha irmã e dinda, que fazem cada conquista alcançada não ser minha, e sim nossa.

Ao Godinho, que se faz mais do que companheiro, sendo minha maior fonte de apoio, inspiração e motivação para enfrentar qualquer desafio, mostrando que eu nunca estarei sozinha e que cada obstáculo superado será feito em nome de um futuro no plural.

Agradeço imensamente ao meu grande amigo Raflem Christian, que muito mais do que meu companheiro de curso, se tornou uma das pessoas mais especiais e que levarei para a vida toda.

Agradeço também à Paula, técnica do laboratório de química da FGA, que contribuiu muito para o resultado final desse trabalho, sempre estando à disposição para ajudar e resolvendo os empecilhos com as soluções mais inusitadas e criativas possíveis.

Ainda que eu tente demonstrar toda minha gratidão à professora Roseany, não será suficiente. Tive muita sorte de encontrar uma orientadora tão prestativa, disposta a ajudar, boa, e que se importa com os alunos não só na vida acadêmica, mas também na pessoal. Então, eu a agradeço por toda orientação dada ao longo dos últimos anos, por ter tido toda paciência no início das pesquisas, ainda na primeira iniciação científica e por ter me ensinado muito. Tenho certeza que o vínculo criado irá durar por muitos e muitos anos ainda, pois se depender de mim farei questão de sempre ter por perto uma pessoa assim tão abençoada, que se tornou um verdadeiro exemplo a se seguir.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos os professores da FGA que de alguma forma contribuíram para minha formação, em especial à professora Juliana pela co-orientação e por ter me mostrado a maravilhosa área de combustíveis ao ministrar a disciplina de biocombustíveis.

To infinity and beyond

Buzz Lightyear

RESUMO

Em função do uso indiscriminado dos combustíveis derivados do petróleo e diante dos problemas ambientais que estes causam, surgiu em todo mundo, a busca por novos combustíveis, especialmente, a partir de fontes renováveis e que possam minimizar esses problemas. Nesse sentido é justificada a ascensão dos biocombustíveis ao longo dos últimos anos. O presente trabalho, portanto, estudou a utilização do Caqui (*Diospyros kaki L.*) como biomassa para obtenção de etanol por meio da fermentação alcoólica, utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* nas concentrações de 15 g L⁻¹ e 20,4 g L⁻¹. O mosto foi analisado por meio de acidez titulável, pH e teor de sólidos solúveis. Foi obtido uma média de 7,29 para acidez titulável, pH de 4,32 e 16,7 °Brix. Para analisar a cinética fermentativa foram feitas as análises de rendimento da fermentação ($Y_{P/S}$), produtividade volumétrica de etanol (Q_P), taxa de consumo de substrato (Q_S) e eficiência da fermentação. Para o produto obtido foi realizado determinação da graduação alcoólica por ebulliometria e análise via RMN ¹H. Os resultados obtidos dos parâmetros cinéticos mostraram que com maior concentração de levedura, a reação de fermentação ocorreu mais rápida, portanto, o substrato foi consumido em maior velocidade. A fermentação apresentou uma boa eficiência comparada com valores encontrados na literatura, cerca de 78%, principalmente, considerando que não houve inoculação das leveduras. O etanol obtido apresentou uma concentração de 63,5 g L⁻¹. Quanto aos resultados obtidos por RMN ¹H foi possível validar que houve produção de etanol comparando os sinais formados com os apresentados em literatura, em que eles correspondem aos componentes do etanol.

Palavras-chave: Etanol, caqui, biocombustíveis, fermentação e cinética fermentativa.

ABSTRACT

Due to the indiscriminate use of petroleum-derived fuels and the environmental problems, which is caused by them, there has been a worldwide search for new fuels, especially from renewable sources that can minimize these problems. In this sense, therefore, an ascension of biofuels is justified over the last few years. This paper, therefore, studies the use of persimmon (*Diospyros kaki L.*) for alcoholic fermentation, using as leaven, *Saccharomyces cerevisiae* in concentrations of 15 g L⁻¹ and 20,4 g L⁻¹. The must was analyzed by titratable acidity, pH and soluble solids content. Was obtained an average of 7,29 for titratable acidity, pH of 4,32 and 16,7 °Brix. To analyze the fermentative kinetics were realized analysis of fermentation yield ($Y_{P/S}$), ethanol's volumetric productivity (Q_P), rate of substrate consumption (Q_S) and fermentation efficiency. For the product obtained was realized determination of alcoholic graduation by ebulliometry and analysis by ¹H NMR. The results obtained for the kinetics parameters showed that with most concentration of leaven, the fermentation reaction occurred faster, therefore, the substrate was consumed at higher speed. The fermentation presented a good efficiency compared to values found in the literature, about 78%, mainly considering that there was no inoculation of the leaven. The ethanol obtained showed a concentration of 63,5 g L⁻¹. As for the ¹H NMR's results it was possible to validate that there was the production of ethanol comparing the signals formed with those presented in the literature, in which they correspond to the components of ethanol.

Keywords: Ethanol, persimmon, biofuels, fermentation and fermentative kinetic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Projeção de produção do petróleo.	3
Figura 2. Reservas Provadas de Petróleo.....	4
Figura 3. Oferta interna de energia	5
Figura 4. Cadeia produtiva do etanol para cana-de-açúcar e milho.	8
Figura 5. Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13
Figura 6. Caquis da variedade Rama Forte.....	16
Figura 7. Etapas de obtenção do etanol a partir do caqui.	19
Figura 8. Tratamento dos caquis.....	20
Figura 9. Pectina retirada na filtragem.	21
Figura 10. Etapas da clarificação do suco do caqui.	22
Figura 11. Fermentação do mosto de caqui.	23
Figura 12. Destilação do fermentado de caqui.	24
Figura 13. Ebuliômetro utilizado para determinação da graduação alcoólica.	27
Figura 14. Cinética fermentativa da 1ª batelada.....	32
Figura 15. Cinética fermentativa da 2ª batelada.....	32
Figura 16. Cinética fermentativa da 3ª batelada.....	34
Figura 17. Cinética fermentativa da 4ª batelada.....	34
Figura 18. Espectro de RMN ¹ H - concentração 15g L ⁻¹	37
Figura 19. Espectro de RMN ¹ H - concentração 20,4 g L ⁻¹	38
Figura 20. Molécula de Etanol.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades do etanol.	7
Tabela 2. Composição do Caqui.	15
Tabela 3. Comparação do teor de sólidos solúveis entres as variedades de caqui. .	16
Tabela 4. Comparação do caqui com outras frutas em relação à fermentação.	18
Tabela 5. Relação da concentração de nutrientes e concentração de leveduras.	22
Tabela 6. Características físico-químicas do mosto do Caqui.....	29
Tabela 7. Concentração alcoólica das 1ª e 2ª bateladas.	33
Tabela 8. Graduação alcoólica das 1ª e 2ª bateladas com o mesmo consumo de °Brix.....	33
Tabela 9. Graduação alcoólica das 3ª e 4ª bateladas.	35
Tabela 10. Parâmetros da cinética fermentativa.	35
Tabela 11. Identificação dos picos do espectro de RMN ¹ H.....	39

LISTA DE SIGLAS

ADP – Adenosina difosfato

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

AT – Acidez Titulável

ATP – Trifosfato de adenosina

BEM - Balanço Energético Nacional

CNI - Confederação Nacional da Indústria

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – *food and agriculture organization of the united nations*

GA – Graduação Alcoólica

IAA - Instituto do Açúcar e do Alcool

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MME - Ministério de Minas e Energia

Q_P – Produtividade Volumétrica de Etanol

Q_S – Taxa de Consumo de Substrato

RMN ¹H – Ressonância magnética nuclear de hidrogênio

SG – Gravidade Relativa – *specific gravity*

TSS – Teor de sólidos solúveis

Y_{P/S} – Rendimento da fermentação

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE SIGLAS	viii
SUMÁRIO	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivos Gerais	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. MATRIZ ENERGÉTICA	3
2.2. BIOMASSA E AGROENERGIA	5
2.3. ETANOL	6
2.3.1 Etanol no Brasil.....	8
2.4. FERMENTAÇÃO	10
2.5. LEVEDURA	12
2.6. CAQUI	13
2.6.1. Caracterização do Caqui	15
2.6.2. Estudos realizados a partir da fermentação do mosto do Caqui.....	17
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	19
3.1. AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DO CAQUI	19
3.2. CONGELAMENTO DO CAQUI	20
3.3. FILTRAÇÃO	21

3.4. CLARIFICAÇÃO E ESTERILIZAÇÃO	21
3.5. PREPARO DO MOSTO.....	22
3.6. FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA.....	23
3.7. DECANTAÇÃO	24
3.8. DESTILAÇÃO	24
3.9. CARACTERIZAÇÃO DO ETANOL	24
3.9.1. Teor de sólidos solúveis	25
3.9.2. Potencial hidrogeniônico – pH	25
3.9.3. Acidez total titulável - A.T	25
3.9.4. Rendimento da Polpa	26
3.9.5. Graduação alcóolica – G.A	26
3.9.5.1. Teórico.....	26
3.9.4.2. Ebulliometria.....	27
3.9.6. Rendimento da fermentação ($Y_{P/S}$)	28
3.9.7. Produtividade Volumétrica de Etanol (Q_P)	28
3.9.8. Eficiência da fermentação (η)	28
3.9.9. Taxa de consumo de substrato (Q_S).....	28
3.9.10. Ressonância magnética nuclear de hidrogênio – ^1H RMN.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO MOSTO	29
4.2. CINÉTICA FERMENTATIVA E GRADUAÇÃO ALCOÓLICA.....	31
4.2.1. Primeira e Segunda Batelada	31
4.2.2. Terceira e Quarta Batelada.....	33
4.2.3. Comparação entre as concentrações	35
4.3. RMN ^1H.....	37
5. CONCLUSÃO	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXO.....	45

1. INTRODUÇÃO

A Agenda 21 (1992) e o Protocolo de Quioto (1998) sugerem a retomada da sustentabilidade, com o intuito de substituir, mesmo que parcialmente os combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia. Dessa forma, vários países estão adaptando suas matrizes energéticas a fim de reduzir a dependência do petróleo e derivados, a exemplo, dos Estados Unidos que consumiam cerca de 40% da gasolina mundial em 2008 e que apenas dois anos depois, em 2010, se tornaram líder mundial na produção de etanol a partir do milho (CORTEZ, 2010).

O Brasil apresenta vantagens em relação a outros países quanto a qualidade do solo, clima, extensão territorial e diversidade de biomassa, o que possibilita o cultivo de variadas culturas e domínio no setor agroindustrial (MME, 2007). Nesse cenário, o país foi pioneiro na produção de biocombustíveis consolidando o etanol a partir da cana-de-açúcar no mercado internacional, obtendo vantagens competitivas em relação a produção de biocombustíveis no mundo (CORTEZ *et al.*, 2013).

Contudo, para manter posição nesse quadro competitivo, o Brasil precisa investir na geração de novas tecnologias e formação de competências. Nesse panorama, a busca por novas biomassas pode ser uma alternativa em potencial, não só pela diversificação da matriz energética, mas também para aumentar a produção, atender a demanda mundial, além de promover a agricultura familiar e valorizar culturas (BRUCKERIDGE *et al.*, 2010) (BNDES, 2008).

Diante das diversas opções de biomassa que podem ser utilizadas, o caqui (*Diospyros kaki L.*) é uma alternativa para o aumento necessário na produção de álcool. O caqui é uma fruta original da China, mas que se expandiu devido a boa qualidade nutricional, sendo presente na maioria das regiões de climas temperado e subtropical no mundo (AZEVEDO *et al.*, 2007). Ele tem alto rendimento, sendo constituído praticamente apenas pela sua polpa, que é fonte de fibras, carboidratos e vitaminas. Ele apresenta uma média de 10 °Brix em teor de açúcares, o que é considerado alto quando comparado a outras frutas de consumo popular. (NUNES *et al.* 2009) (AZEVEDO *et al.*, 2007).

1.1. JUSTIFICATIVA

No Brasil, a cana-de-açúcar corresponde a mais de 60% da oferta de energia renovável, sendo que o país apresenta uma das matrizes energéticas mais limpas do

mundo. Além disso, o governo brasileiro assumiu o compromisso de aumentar a produção de biocombustíveis, bioeletricidade e florestas energéticas em sua Política Nacional sobre Mudanças do Clima (SANTOS *et al.*, 2013).

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007), é evidente a necessidade de estudos sobre rotas tecnológicas ainda não dominadas pelo país devido ao potencial brasileiro na produção de biomassa de variadas qualificações. Nesse cenário, diversas culturas que já são cultivadas no Brasil ganham destaque por serem potenciais biomassas para produção de etanol, o que também pode servir como incentivo a pequenos agricultores e gerar maior desenvolvimento socioeconômico, além de contribuir para desvinculação de combustíveis fósseis.

O caqui é sazonal, apresenta uma produção elevada por safra, e tem rápido processo de maturação, de forma que o seu consumo deve ser feito prontamente para que não haja perda do fruto. Entretanto, mesmo com uma boa aceitação de mercado, a oferta de caqui ultrapassa a demanda, acarretando na diminuição do preço dele, e na elevada quantidade que é descartada (HERAS *et al.*, 2016).

Dessa forma, a justificativa desse trabalho é oferecer uma destinação ao excedente de caqui, buscando uma alternativa que daria maior retorno econômico ao mesmo. Tudo isso aliado ao atraente teor de açúcar do fruto, e à necessidade de se encontrar biomassas alternativas para produção de álcool, a fim de se diversificar a matriz energética.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos Gerais

Utilizar o caqui como biomassa para produção de etanol, visando aproveitar o excedente de frutos para agregar valor ao mesmo.

1.2.2. Objetivos Específicos

- produzir etanol a partir do mosto do caqui variedade Rama Forte;
- calcular o rendimento em peso do etanol;
- avaliar a cinética fermentativa;
- determinar teor alcóolico por ebulliometria;
- determinar acidez titulável;
- confirmar a obtenção de etanol por RMN ¹H;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MATRIZ ENERGÉTICA

Com a descoberta do carvão mineral para fins energéticos durante a revolução industrial, em meados do século XIX, os combustíveis de origem fóssil se tornaram a base da matriz energética mundial. Sendo consolidados ainda mais durante século XX com o petróleo, que por possuir maior vantagem de armazenamento e transporte em relação a outros combustíveis, se tornou a principal fonte de energia. Por isso, este passou a influenciar diretamente toda política econômica e social em níveis globais (MAIA, 2010).

Apesar de sua alta eficiência energética, o petróleo tem um grande fator de vulnerabilidade associado ao seu uso, relacionado ao aumento de demanda e a instabilidade política das áreas produtivas. Por se tratar de um combustível fóssil, estima-se que sua produção nos próximos anos venha a diminuir de maneira considerável (Figura 1), de forma que a demanda mundial poderá não ser suprida. Dessa forma, uma produção em declínio com uma demanda significativa pode gerar uma crise, que acarretará no aumento expressivo do preço do petróleo (CNI, 2007).

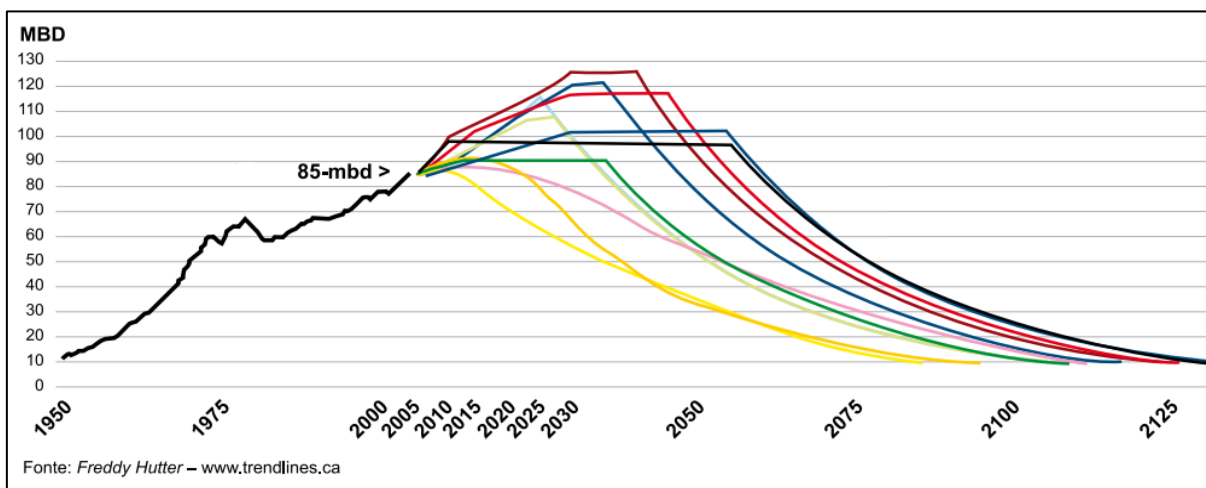


Figura 1. Projeção de produção do petróleo (CNI, 2007).

Outro ponto de instabilidade está relacionado aos países que mais produzem petróleo (Figura 2), pois estes detêm uma parte significativa das reservas provadas¹,

¹ Reservas provadas: reservas de petróleo e gás natural que, com base na análise de dados geológicos e de engenharia com alto grau de certeza, se estima a recuperação comercial do reservatório. (MME, 2007)

e que em sua maioria estão localizadas no Oriente Médio, região de grandes conflitos políticos e religiosos (CNI, 2007).

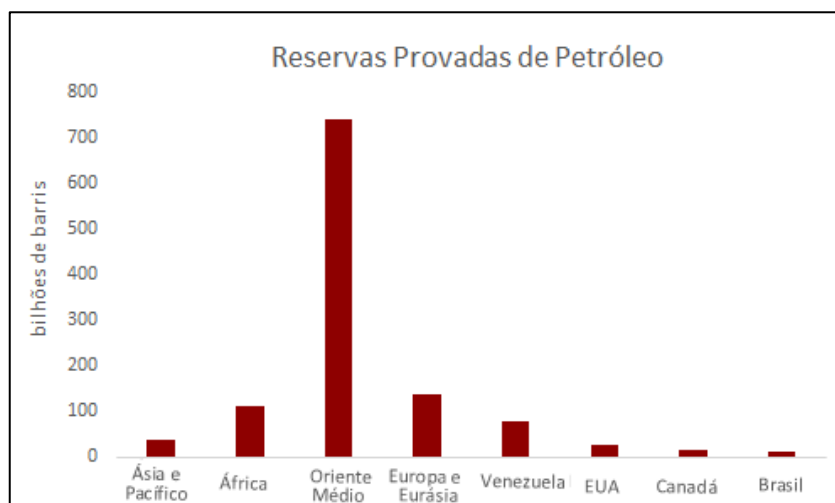


Figura 2. Reservas Provadas de Petróleo (MME, 2007).

Além dos fatores apresentados, a questão ambiental é uma importante desvantagem no uso de combustíveis fósseis como fonte de energia. O consumo de tais combustíveis é responsável por 84% das emissões dos gases do efeito estufa, sendo o setor de transportes responsável por 60% das emissões geradas pela combustão do petróleo. Diante desse panorama, fica evidente a necessidade em diminuir a utilização do petróleo e os demais combustíveis fósseis da matriz energética global e aumentar a oferta dos combustíveis de origem renovável (MAIA, 2010).

O Brasil mostra uma gradativa adaptação para esse futuro cenário, de forma que, segundo o Ministério de Minas e Energia – MME – estima-se um recuo de 31% na participação de petróleo e derivados na oferta interna de energia para 2030. Os anos anteriores mostravam um comportamento diferente, sendo que em 1970 essa participação era de 34% e que subiu para 45% no ano 2000 (MME, 2007).

As décadas de 80 a 2000 foram responsáveis pelas maiores participações de petróleo e derivados, representando cerca de 40 a 50% da matriz energética nacional, enquanto o gás natural, o bagaço e o álcool ganharam participação relativa (Figura 3). Esse cenário se inverte ao longo dos próximos anos, estimando-se que até 2030 o petróleo e derivados percam participação efetiva, reduzindo para cerca de 32 a 43%, enquanto o álcool, o bagaço e outras fontes renováveis aumentarão significativamente (MME, 2007).

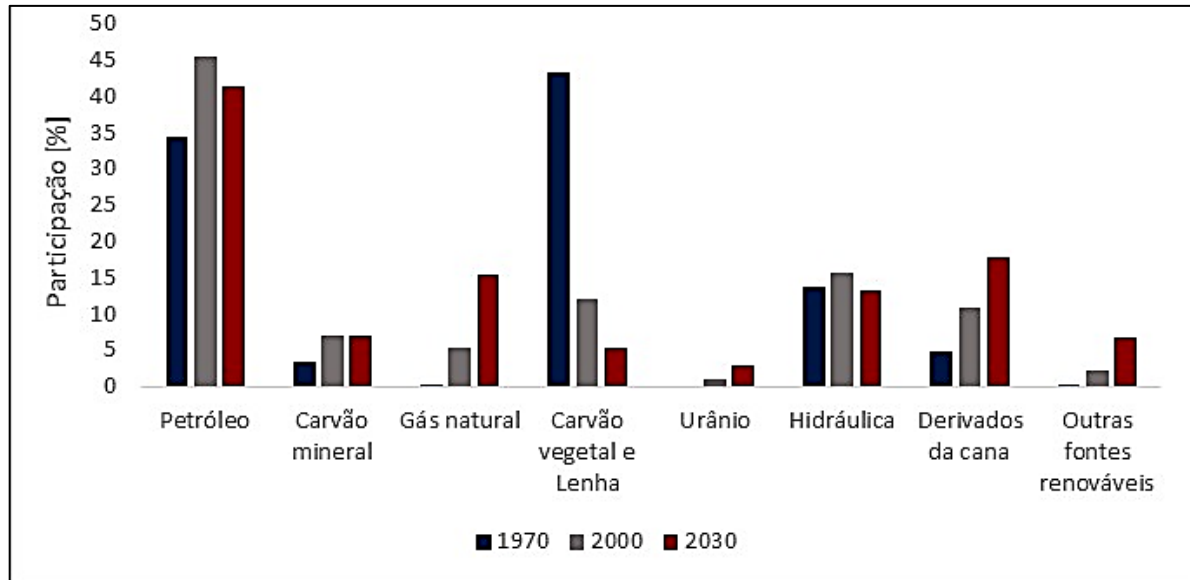


Figura 3. Oferta interna de energia, adaptado de MME, 2007

Isso mostra uma tendência mundial à adaptação, crescimento no investimento e produção de energia a partir de fontes renováveis, com a criação de políticas de incentivo e a inserção de biocombustíveis no mercado.

2.2. BIOMASSA E AGROENERGIA

Biomassa para fins energéticos é caracterizada como uma matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos, como florestas, produtos e resíduos agrícolas, dejetos animais e matéria orgânica de rejeitos urbanos e industriais. Tal matéria, por ser oriunda da fotossíntese, possui uma quantidade significativa de energia química acumulada, que pode ser liberada ou convertida em importantes produtos energéticos, como gases combustíveis e de síntese, carvão vegetal, óleos vegetais combustíveis e etanol (MME, 2007).

A biomassa é classificada como recurso energético em três categorias principais, associada à matéria que constitui os biocombustíveis (NOGUEIRA & LORA, 2003).

- biomassa energética florestal: são em sua maioria recursos florestais, como biomassa lenhosa. Os produtos dessa classe são geralmente aproveitados energeticamente a partir de transformações termoquímicas, como combustão e carbonização, ou na produção de biocombustíveis líquidos e gasosos, como gás de síntese, metanol e etanol.

- biomassa energética agrícola: são produzidos em colheitas anuais, sendo que a cultura é escolhida de acordo com características específicas que variam conforme o biocombustível que se deseja obter, como teor de glicose, lipídios e celulose. Nesse tipo de biomassa encontram-se as próprias culturas agroenergéticas, como cana-de-açúcar, soja, beterraba e milho, ou subprodutos de atividades agrícolas, como esterco animal, cascas, palhas e bagaços.
- rejeitos urbanos: são resíduos urbanos líquidos e sólidos presentes no lixo e no esgoto, que são aproveitados energeticamente por rotas termoquímicas, como combustão direta e gaseificação, ou biológicas, como a digestão anaeróbica para produção de biogás.

A produção mundial de biomassa é estimada em cerca de 146 milhões de toneladas, sendo consideradas todas as suas categorias (SCHULZ, 2010).

O Brasil apresenta diversas vantagens que o faz ter potencial para se tornar líder no mercado mundial de produtos agrícolas e agroindustriais, principalmente os aplicados à energia, destacando que a participação da biomassa na matriz energética nacional em 2010 foi de 19,3% (SANTOS *et al.*, 2013; MME, 2007). Outros fatores positivos são a variedade de clima, a abundante biodiversidade e as reservas de água doce. Além disso, o país dispõe de áreas que podem ser destinadas para agroenergia, sem que seja necessário reduzir a área utilizada para produção de alimentos, promovendo o desenvolvimento em áreas rurais, principalmente em regiões remotas, com a geração de emprego. Diante dessa série de vantagens, fica evidente o potencial brasileiro para liderar o mercado de bioenergia (MME, 2007).

No entanto, ainda existem desafios a serem superados para que a agroenergia se consolide, como melhoria na tecnologia de conversão visando a otimização da geração de bioenergia a partir da biomassa, aperfeiçoamento de técnicas industriais relacionadas ao aprimoramento das culturas para que elas gerem um produto com maior valor agregado, visando garantir espaço no mercado internacional de biocombustíveis, e também adequação às restrições econômicas, ambientais e sociais da região que será explorada (MME, 2007).

2.3. ETANOL

O etanol, também chamado de álcool etílico, é uma substância orgânica que tem em sua estrutura o grupo funcional hidroxila (-OH) e faz parte da categoria dos

álcoois. Sua fórmula molecular é C_2H_5OH . Ele é obtido desde os tempos antigos por meio da fermentação dos açúcares disponíveis em vegetais, grãos, cana-de-açúcar, beterraba, mandioca, milho, trigo. Sua destinação na indústria é definida de acordo com o grau de impurezas, podendo ser utilizado como combustível, produção de bebidas ou como matéria-prima para as indústrias farmacêutica, de cosméticos e alcoolquímica (CORTEZ *et al.*, 2013).

Como combustível, o etanol é claro, incolor, de odor aromático e sabor ardente. Ele apresenta chama azulada, muito quente e pouco luminosa durante sua queima. As definições de suas propriedades físico-químicas não são exatas para todos os álcoois, pois dependem de seu grupo hidroxila, que é responsável pelas interações químicas e dá o caráter polar à molécula (CORTEZ *et al.*, 2013). Na Tabela 1 seguem algumas de suas propriedades.

Tabela 1. Propriedades do etanol.

Propriedades	Zhuang (2012)	Bayraktar (2005)	Masun <i>et al.</i> (2014)
Massa molar [g mol ⁻¹]	46,0	46,0	46,0
Densidade [kg.m ⁻³]	790,3	785,0	794,3
Oxigênio [%]	34,8	-	34,7
Poder calorífico inferior [MJ Kg ⁻¹]	26,9	27,0	28,8
Calor latente de vaporização [KJ Kg ⁻¹]	840,0	-	923,0
Temperatura de Ebulição [°C]	78,4	-	79,5
Octanagem RON	106,0	106 – 110,0	107,4
Razão combustível/ar	1:9	1:10	-

O etanol pode ser classificado em dois tipos, anidro ou hidratado. O anidro é obtido a partir da desidratação do etanol hidratado, de forma que ele possua apenas 0,7% de água. Tal procedimento é realizado para que esse álcool se torne miscível à gasolina visando melhorar a qualidade dela. Essa mistura pode chegar até a 25% de etanol na gasolina. Já o etanol hidratado (E100) é uma mistura azeotrópica² que

² Mistura azeotrópica: possui as mesmas composições em fase líquida e gasosa (CORTEZ, 2013).

contém cerca de (92,6 a 93,8)% de etanol em massa e água. Ele é utilizado como único combustível em motores movidos a álcool, ou em veículos do tipo *flex*, em que ele pode ser usado junto com a gasolina em qualquer proporção. Se forem adicionados aditivos adequados, ele pode ser usado em motores do tipo Ciclo Diesel (CORTEZ *et al.*, 2013; VALDES, 2011).

O etanol pode ser obtido a partir de amiláceos ou de biomassas açucaradas, em que as mais utilizadas nessas rotas são o milho e a cana-de-açúcar. Partindo de amiláceos, primeiro ele é convertido em amido, que por sua vez é convertido em glicose, já a partir da cana-de-açúcar se extrai a sacarose diretamente. Após a extração do açúcar, o etanol é produzido por meio de fermentação (DO CARMO & TANNOUS, 2010). A cadeia produtiva simplificada do etanol para essas duas rotas está representada na Figura 4.

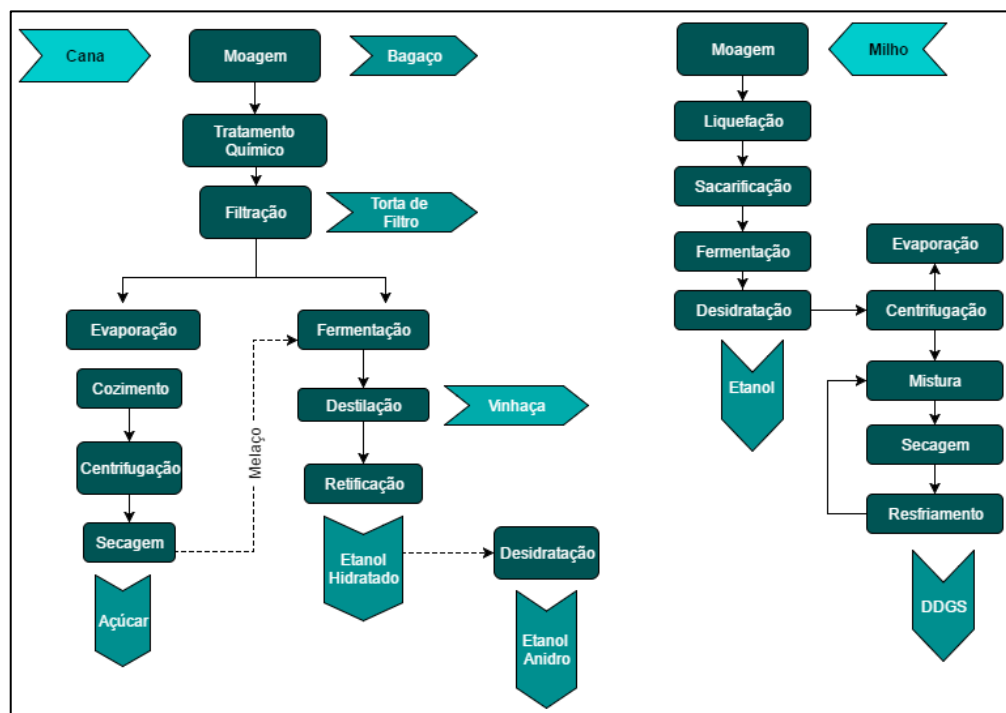


Figura 4. Cadeia produtiva do etanol para cana-de-açúcar e milho, adaptado de Cortez *et al.*, 2013.

2.3.1 Etanol no Brasil

Com a crise econômica mundial de 1929 o mercado açucareiro foi afetado e entrou em colapso gerando valores significativos de excedente de açúcar. Como forma de proteger a indústria, em 1931, no governo de Getúlio Vargas foi decretado a obrigatoriedade da adição de 5% de etanol à gasolina (MAIA, 2010).

A Segunda Guerra Mundial também foi um fator que influenciou o setor sucroalcooleiro brasileiro, uma vez que com a diminuição de oferta de petróleo, o mercado internacional para o etanol ganhou evidência. Entretanto, com o final da guerra os países se reergueram e o etanol voltou a perder mercado (CORTEZ *et al.*, 2013).

Em 1973 países árabes pararam de exportar petróleo para países que apoiavam Israel na guerra do Yom Kippur, como Estados Unidos e Holanda, gerando uma mudança na oferta e fazendo com que o preço do barril de petróleo aumentasse cerca de 78%, dando origem ao primeiro choque do petróleo (MAIA, 2010).

O Brasil importava cerca de 80% de sua demanda de petróleo e derivados em 1972, e com o aumento do preço gerou-se uma pressão cambial, de forma que, motivado pela queda do preço do açúcar no mercado internacional e com a necessidade de diminuir a dependência de importação do combustível fóssil, foi criado em 1975 o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) (MAIA, 2010; CORTEZ *et al.*, 2013).

No final dos anos 70, ocorreu o choque de juros dos Estados Unidos, em que houve uma queda brusca do dólar, afetando diretamente o preço do barril do petróleo que é comercializado nessa moeda. Além disso, outro fator afetou o mercado internacional de petróleo, o conflito entre Irã e Iraque, em que a produção iraniana, a segunda maior do mundo em 1979, caiu 85% e impactou diretamente o preço do petróleo, sendo esse momento conhecido como Segundo Choque do Petróleo (DE ALMEIDA *et al.*, 2007).

Diante desse cenário foi implantada a segunda fase do Proálcool, que com políticas mais rígidas tinha por objetivo a substituição total da gasolina pelo etanol, aumentando a produção de álcool anidro e por consequência, gerando a necessidade de evolução tecnológica, principalmente na indústria automotiva (MAIA, 2010; CORTEZ *et al.*, 2013). Para tanto, o governo criou políticas de incentivo como manter o preço do etanol sempre abaixo do da gasolina, estímulos à usineiros, implantação de bombas de álcool em postos combustíveis e manutenção de estoque estratégico para estabilização da oferta (MAIA, 2010).

Em resposta a essas medidas houve o aumento significativo da produção de etanol, de forma que se obteve excedente de gasolina, levando a Petrobras a priorizar a produção de diesel em detrimento à gasolina (MAIA, 2010).

Em 1990 diversos fatores contribuíram para a desestabilização do Proálcool. O contra-choque do petróleo realizado pela Arábia Saudita, que reduziu o preço do petróleo em 50%, aliado à valorização do açúcar no mercado internacional, o investimento na exploração do petróleo nacional e o processo de redemocratização brasileiro acarretaram no corte de subsídios à produção de álcool, acarretando na troca, por parte dos usineiros, da produção de etanol por açúcar fazendo com que fosse necessário importar metanol para suprir a demanda (MAIA, 2010). Assim, o programa foi formalmente extinto em 1990, entretanto, até 2017 existe incentivo e fomento à política energética, porém sem as facilidades fiscais e de créditos que eram fornecidas (SCHULZ, 2010).

De uma maneira geral, o Proálcool foi de grande importância no desenvolvimento de tecnologias, fazendo com que a produtividade do setor se desenvolvesse, aperfeiçoando sistemas de inovação como o melhoramento genético da cana-de-açúcar e o aproveitamento do bagaço. Dessa forma, o Proálcool foi considerado o maior programa de bioenergia do mundo, e deixou legados com investimento em pesquisas na área de biocombustíveis (MAIA, 2010).

2.4. FERMENTAÇÃO

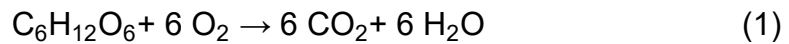
De forma geral, entende-se por fermentação o processo em que, por meio de suas enzimas, microrganismos metabolizam um substrato orgânico e formam substâncias intermediárias ou derivados dos produtos finais da oxidação biológica. No caso da fermentação alcoólica, o substrato orgânico metabolizado é a glicose, que forma como principal produto o álcool (FURLAN, 2009).

Na produção de etanol a fermentação alcoólica é uma das etapas mais importantes, uma vez que é nela onde ocorre a conversão de açúcares em álcool. Os microrganismos mais empregados nessa etapa são as leveduras do tipo *Saccharomyces cerevisiae* (FURLAN, 2009).

O processo de obtenção do etanol consiste em reações de oxirredução dos componentes orgânicos, que ocorre em duas etapas: (i) a respiração aeróbia e (ii) respiração anaeróbia, onde ocorre a fermentação e tem o etanol como produto.

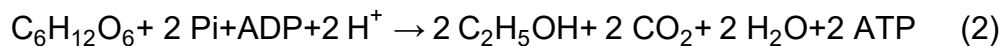
Durante a primeira etapa, representada na Equação 1, ocorre o aumento da cultura de leveduras através do aproveitamento da energia liberada da respiração aeróbia. Inicialmente ocorre a redução da glicose à piruvato, posteriormente, ele é

convertido em dióxido de carbono, e por fim, o oxigênio atua como agente oxidante e reduz os substratos orgânicos, obtendo produção de trifosfato de adenosina (ATP).



O processo fermentativo é realizado em 10 equações sequencialmente ordenadas, onde cada uma delas é catalisada por diferentes enzimas situadas no citoplasma celular, região do microrganismo em que a fermentação é realizada. Dentre os diversos tipos dessas reações, destacam-se descarboxilação, transferências de fosfato, isomerização e oxirredução (FURLAN, 2009).

A etapa de respiração anaeróbia, representada na Equação 2, é totalmente realizada na ausência de oxigênio e consiste em uma série de reações químicas de metabolização da glicose por parte das leveduras. Esse processo tem o etanol como produto, mas é importante ressaltar que ele ocorre devido ao processo de nutrição das leveduras. Inicialmente ocorre a glicólise, em que a glicose é convertida em duas moléculas de piruvato (Pi) com liberação de hidrogênio e energia (ADP). Posteriormente, em uma reação de cunho irreversível, o piruvato sofre descarboxilação e forma acetaldeído e dióxido de carbono. Então o acetaldeído é convertido em etanol formando NADH e H⁺. (FURLAN, 2009; BORGES, 2008).



Segundo Stryer (1995), a não representação das moléculas de NAD⁺ e NADH na segunda equação é justificada uma vez que a molécula NAD⁺ gerada da conversão do acetaldeído em etanol é consumida na oxidação do gliceraldeído 3-fosfato, fazendo com que haja a reação complexa de oxirredução na produção de etanol a partir da glicose.

Analisando a relação estequiométrica da Equação 2, tem-se que a partir da conversão de 1 g de glicose são produzidos 0,51 g de etanol e 0,48 g de gás carbônico. E ainda, a partir de um mol da glicose se gera dois mols de energia (ATP) (STRYER, 1995).

Apesar da consolidação industrial da *Saccharomyces cerevisiae*, ela ainda apresenta algumas dificuldades a serem superadas. Devido à alta sensibilidade desse microrganismo, fatores externos como temperatura, pH, pressão osmótica, oxigenação e contaminação bacteriana são prejudiciais, e afetam diretamente a

conversão de açúcares em álcool. Outro ponto relevante diz respeito à conversão de pentoses, esse tipo de levedura não consegue metabolizar esse açúcar, sendo necessário empregar outras cepas ou até mesmo desenvolver mutações que sejam capazes, o que afetaria economicamente a produção de etanol (FURLAN, 2009).

A fermentação em escala industrial, normalmente é realizada em reatores de batelada simples ou de batelada alimentada, que apresentam como uma das maiores vantagens para realização da assepsia, parâmetro que se mostra importante devido a necessidade de se evitar contaminação da levedura (BORGES, 2008). Outra característica, é que o processo de fermentação brasileiro é do tipo *Melle-Boinot*, que consiste na reutilização da cepa por meio da centrifugação, assim após a fermentação as leveduras são recuperadas, tratadas e podem ser reutilizadas (BNDES, 2008).

Quanto aos padrões físico-químicos para que a fermentação ocorra com melhor aproveitamento, tem-se que a temperatura deve ocorrer na faixa de 26 a 35 °C, o pH entre 4,0 e 5,0; finalizando entre 3,5 e 4,0 (FURLAN, 2009).

2.5. LEVEDURA

Leveduras são microrganismos heterotróficos, unicelulares, aclorofilados e podem ser aeróbios ou anaeróbios (SANTOS *et al.*, 2013). Pertencem ao grupo dos fungos, mas devido ao caráter unicelular, se diferem dos fungos gerais (mofos) que tem por característica serem multicelulares. Devido essa natureza elas possuem a cinética de reprodução e o crescimento bem mais rápidos que o dos mofos e a reprodução se faz geralmente por gemulação. Possuem maior capacidade e eficiência em atividades de alterações químicas em virtude de sua maior relação área/volume (SANTIN, 1996).

Outra propriedade importante desses microrganismos é que suas células são eucariontes, e por isso possuem uma estrutura organizada e uma membrana citoplasmática, que é responsável por regular as trocas com o meio ambiente. São classificados de acordo com suas atividades, podendo ser leveduras ativas ou inativas. As do primeiro tipo geralmente atuam na fermentação em panificações e na produção de álcoois ou como fontes de nutrientes. Já as outras, por não terem capacidade fermentativa, são utilizadas como alimentos nutricionais, promovendo aromas e sabores (SANTIN, 1996).

As leveduras são comparadas às bactérias quanto a nutrição, pois ambas consomem matérias orgânicas, entretanto, são facilmente diferenciadas devido às suas propriedades morfológicas e dimensões maiores (SANTIN, 1996).

O processo de propagação das leveduras é chamado de *fed-batch* ou contínuo. Este consiste em escolher uma cepa específica de leveduras que são mantidas por cerca de 2 dias em condições de temperatura, pH, aeração e alimentação estritamente controladas (SANTIN, 1996).

Elas são vastamente utilizadas na indústria devido a capacidade de metabolizar hexoses, pentoses e ácidos orgânicos, e de produzir álcool e proteínas heterólogas, podendo ainda ser utilizadas para aumento da taxa de crescimento de gados, suínos e aves devido suas ações na flora intestinal. Como agentes fermentativos na indústria alcoólica, a levedura mais utilizada é a *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 5), que tem uma composição nutricional atrativa e consegue fermentar açúcar à etanol em altos rendimentos, mesmo em aerobiose. Está diretamente ligada à qualidade de etanol produzido, de forma que deve haver uma seleção de leveduras que tenham altas velocidade e capacidade fermentativa; dominância e permanência sobre a safra; alta conversão de açúcar em etanol; baixas produções de glicerol e espuma; resistência à acidez, à elevadas temperaturas e concentrações de etanol; estabilidade genética e rápido crescimento celular (SANTOS *et al.*, 2013).



Figura 5. Levedura *Saccharomyces cerevisiae* (ALCÂNTARA, 2009).

2.6. CAQUI

O caqui (*Diospyros kaki L.*) é um fruto subtropical original da Ásia, cultivado na China por séculos antes de Cristo, sendo levado posteriormente para o Japão, no século VII, e para Coreia, no século XIV. Apesar de ser tipicamente subtropical, ele

facilmente se adapta às condições dos climas temperado e tropical de maiores altitudes (TEXEIRA, 2006) (HERAS *et al.*, 2016).

O caquizeiro pertence à família das Ebenáceas, possui porte arbóreo e pode atingir até 12 metros de altura. Tem melhor desenvolvimento em solos areno-argilosos e é sensível a solos úmidos. Sua maturação é lenta e ocorre por volta dos 7 a 8 anos. Quando atingida, possui uma produção de frutos que varia de 75 a 150 Kg por ano (LOPES *et al.*, 2014) (PIO *et al.*, 2003) (TEXEIRA, 2006).

Ele possui formato esférico parcialmente achatado, pode ter diversas colorações: amarelo, laranja, vermelho ou roxo, que varia de acordo com o tipo de caqui. É composto quase totalmente por sua polpa, constituída por pectina e mucilagem, de cor amarelo avermelhada. O caqui é uma fruta de aspecto gelatinoso, rica em fibras, em vitaminas A, B, C e em açúcares, com uma quantidade acima da média comparada a outras culturas de consumo popular, variando de 14 a 24% em sua composição (ELIAS *et al.*, 2008) (PIO *et al.*, 2003) (GUIMARÃES, 2007) (AZEVEDO *et al.*, 2007).

No Brasil, foi introduzido por imigrantes japoneses no século XX, estabelecendo-se principalmente nos estados da região sul e sudeste (TEXEIRA, 2006). No ano de 2014 a produção brasileira de caqui foi 182.280 toneladas, sendo que no ano seguinte, ele contou com uma área de plantação de 8.613 hectares, o que corresponde a 0,149% do total de terras cultiváveis, com o custo médio de produção de 290.666 mil reais por hectare, e um rendimento de 22.395 quilogramas por hectare (NUNES *et al.*, 2009) (BLUM *et al.*, 2008) (IBGE, 2017).

O caqui é um fruto sazonal, com frutificação entre os meses de fevereiro a maio, variando de acordo com a região, variedade do caqui e condições climáticas. De forma geral, o período de colheita é curto para a abundante produção, problema esse que se intensifica ao levar em conta que 90% dos caquis são vendidos logo após a colheita, ocasionando o aumento da oferta da fruta no mercado, e por consequência, a redução do preço dela por parte dos produtores. Além disso, ainda ocorre uma seleção dos frutos que serão comercializados, sendo que cerca de 20 a 50% deles são descartados por possuírem machucados (AZEVEDO *et al.*, 2007) (LOPES *et al.*, 2014). Dessa forma, a busca por alternativas para se obter maior retorno econômico dessa cultura tem sido explorada, principalmente para o uso medicinal, devido ao alto teor de antioxidantes (HERAS *et al.*, 2016).

Além da fácil adaptação nas diferentes condições de solo e clima, o caqui é rico em fibras, sais minerais, vitaminas e açúcares. Fatores que geram um interesse por essa cultura e garantem uma boa aceitação nos mercados nacional e internacional. De acordo com a organização das nações unidas para alimentação e agricultura – FAO (*food and agriculture organization of the united nations*), a produção mundial de caqui é maior que 4 milhões de toneladas, sendo a China responsável por 82% dessa produção (MOLINER *et al.*, 2016).

2.6.1. Caracterização do Caqui

No Brasil, o caqui é classificado de acordo com sua adstringência, podendo pertencer a três grandes grupos: taninoso, doce e variável. Os do primeiro tipo, são os que possuem a polpa amarela e adstringente, independente de possuírem ou não sementes. Já os doces, também possuem a polpa amarela, porém não são adstringentes, e podem ou não possuírem sementes. Os do último tipo, incluem os que podem ter a polpa amarela e não possuir sementes nem serem taninosos, e os de polpa escura que podem ser taninosos e possuírem sementes, deste tipo, se destacam as variedades Rama-Forte, Giombo e Kaoru (GUIMARÃES, 2007). A Tabela 2 mostra a composição de alguns componentes do caqui.

Tabela 2. Composição do Caqui.

	TEXEIRA, 2006	ELIAS <i>et al.</i> , 2006	PINTO, 2010
Calorias (Kcal)	78,0	64,0	78,0
Proteínas (g)	0,8	0,5	0,3
Vitamina A (mg)	250,0	-	250,0
Glicídios (g)	20,0	-	-
Fibras (g)	1,9	2,6	2,6
Parte não comestível (%)	11,5	-	-
Lipídios (g)	0,4	0,1	0,1
Água (g)	-	81,0	81,4
Sólidos solúveis (°Brix)	-	14,0	14,4

Um importante parâmetro na fermentação é teor de sólidos solúveis (TSS), uma vez que ele representa o teor de açúcar disponível para fermentação e reflete no

rendimento fermentativo (RIBEIRO, 2016). A Tabela 3 mostra de forma comparativa o teor de sólidos solúveis de diferentes variedades de caquis.

Tabela 3. Comparação do teor de sólidos solúveis entre as variedades de caqui.

Variedade	Teor de Sólidos Solúveis (°Brix)	Referências
Média caqui	14,0	Elias <i>et al.</i> , 2006
Caqui Fuyu	15,4	Golçalves <i>et al.</i> , 2006
Rama Forte	18,0	Santos <i>et al.</i> , 2011
Giombo	21,4	Santos <i>et al.</i> , 2011
Chocolate	10,5 – 13,5	Botana <i>et al.</i> , 2013

Os caquis da variedade Rama-Forte (Figura 6) são tipicamente brasileiros e foram introduzidos em Mogi das Cruzes por João Rama Forte, em 1928. Eles são os mais produzidos na região serrana fluminense e tem se expandido na região sudeste como um todo. Não necessitam de muito frio, são em sua maioria adstringentes, de tamanho médio a grande, com cerca de 130 g, achatados e de polpa mole. Em uma safra, uma planta adulta tem uma produção média de 150 Kg de frutos. Tem produtividade de março a maio e são resistentes a transporte (PEREIRA *et al.*, 2011) (PIO *et al.*, 2003) (TEXEIRA, 2006).



Figura 6. Caquis da variedade Rama Forte.

2.6.2. Estudos realizados a partir da fermentação do mosto do Caqui

A fermentação do caqui foi abordada no trabalho desenvolvido por AZEVEDO *et al.* (2007), em que foi estudada a viabilidade da fermentação utilizando caquis que iriam ser descartados por não serem adequados para comercialização. Foi utilizado o microrganismo *Saccharomyces cerevisiae*, que fermentou quatro tipos de mosto, com teor de sólidos solúveis de 12 e de 18 °Brix e cada um com pH de 4,5 e 5,5. O melhor resultado obtido foi com o mosto sem correção de açúcar, de 12 °Brix, e pH de 5,5, onde se obteve um etanol com concentração de 6,57 g L⁻¹ com 48 horas de fermentação.

No trabalho realizado por NUNES *et al.* (2009), foi feita a fermentação do caqui a fim de se obter vinho. Foram utilizados caquis da variedade Fuyu em estágio de maturação avançado, cujo o mosto inicialmente possuía 16 °Brix, mas que foi corrigido com sacarose até 24 °Brix para se obter um teor alcoólico maior. Foi utilizada a levedura *Saccharomyces cerevisiae* como agente fermentativo, com pH do meio variando entre 3,65 e 4,55 e a temperatura entre (19,8 e 24,5)°C. Em que durante 76 horas de fermentação, foi possível obter uma concentração de etanol de 94,68 g L⁻¹.

Além desses trabalhos realizados com caqui, foi encontrado na literatura estudos realizados com a fermentação de outros frutos. Como o trabalho desenvolvido por CORAZZA *et al.* (2001) em que foram utilizadas laranjas para fermentação a fim de se obter vinho. O suco de laranja tinha inicialmente 9 °Brix, que foi corrigido com sacarose até 26 °Brix para a fermentação, que ocorreu com pH variando entre 2,7 e 3,64 durante 153 horas de reação, se obtendo um vinho com concentração alcoólica de 83,64 g L⁻¹. Já DIAS *et al.* (2003) fermentaram o mosto obtido a partir do cajá, que foi chaptalizado de 12,3 até 24 °Brix por 10 dias, em um meio com pH de 3,8, obtendo etanol de concentração 94,68 g L⁻¹. FONTAN *et al.* (2011) utilizaram a melancia para produção de vinho. Inicialmente o mosto da melancia possuía 9 °Brix, que foi dobrado e seguiu para fermentação, onde permaneceu durante 20 dias, em um meio com pH de 4,4, obtendo-se uma concentração de álcool de 78,9 g L⁻¹.

Além disso, como principal forma de comparação, o trabalho desenvolvido por MASSON *et al.* (2015) mostra a fermentação do sorgo sacarino e da cana-de-açúcar, que é a principal matéria prima na produção de etanol no Brasil. Para o sorgo sacarino, se obteve um mosto com 19,3 °Brix que foi fermentado por 10 horas em um meio com pH de 4,86, se obtendo a concentração alcoólica de 49,94 g L⁻¹. Já para a cana-de-

açúcar, o mosto teve 21,2 °Brix, e seguiu em fermentação por 10 horas em um meio de 5,2 de pH, se obtendo etanol de concentração 57,75 g L⁻¹. A Tabela 4 mostra os parâmetros dos trabalhos citados.

Tabela 4. Comparação do caqui com outras biomassas em relação à fermentação.

	TSS inicial (°Brix)	TSS corrigido (°Brix)	pH	Tempo de reação	Concentração alcoólica (g L⁻¹)
Caqui para descarte	12	-	5,5	48 h	6,57
Caqui para descarte	12	18	5,5	48h	4,97
Caqui Fuyu	16	24	3,65 – 4,55	76 dias	94,68
Cana-de-Açúcar	21,2	-	5,2	10 h	57,75
Sorgo Sacarino	19,3	-	4,86	10 h	49,94
Laranja	9	26	2,7 – 3,64	153 h	83,63
Cajá	12,3	24	3,8	10 dias	94,68
Melancia	9	18	4,4	20 dias	78,9

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A Figura 7 apresenta as fases que foram desenvolvidas para obtenção do etanol a partir da fermentação do caldo do Caqui. Uma abordagem mais detalhada a respeito de cada procedimento experimental será feita a seguir.



Figura 7. Etapas de obtenção do etanol a partir do Caqui.

3.1. AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DO CAQUI

Os Caquis foram adquiridos na Central de Abastecimento do Distrito Federal (Ceasa). Foram selecionados caquis da variedade Rama Forte da safra de 2017 em avançado estágio de maturação, em um total de 7 Kg.

Os frutos foram lavados (Figura 8) em água corrente e secos por uma centrífuga de plástico de uso culinário. Depois de secos, eles foram pesados e separados em sacos de plástico com 1 Kg para serem congelados.



Figura 8. Tratamento dos caquis.

3.2. CONGELAMENTO DO CAQUI

O congelamento é uma etapa essencial para obtenção da polpa do caqui em condições fermentáveis. Nos primeiros testes realizados, o caqui fresco foi processado no liquidificador, porém por possuir uma polpa muito densa e com muita pectina, ela não ficava líquida como um suco e sim com aspecto pastoso, um meio em que a levedura não conseguiria agir para fermentação, ainda que fosse feita a clarificação.

Uma alternativa testada foi a diluição dessa polpa pastosa em água, porém, além de não deixar totalmente líquido, reduzia o teor de sólidos solúveis, cerca de 80%, mostrando que não seria viável uma vez que a chaptalização seria muito alta, e todo o açúcar consumido durante a fermentação seria o açúcar que foi adicionado e não o do caqui, indo contra toda a proposta do trabalho.

Uma segunda tentativa foi realizada utilizando também caquis frescos, que foram processados em uma centrífuga para sucos. Porém a polpa obtida ficou com o mesmo aspecto pastoso desfavorável para fermentação.

Os caquis que não foram utilizados nessas tentativas estavam congelados, de forma que quando retirados, possuíam um líquido formado pelo descongelamento. Foi medido o teor de sólidos solúveis desse líquido, que apresentou um valor elevado, assim como o da polpa, mostrando-se ideal para a fermentação.

Dessa forma, mais caquis foram adquiridos e após a lavagem e pesagem foram congelados. Após o descongelamento a polpa apresentou um aspecto que pode ser comparado a um suco mais cremoso, sendo bem menos densa e bem mais líquida

quando comparada ao processamento da polpa com caquis frescos, possuindo o mesmo °Brix.

3.3. FILTRAÇÃO

A filtração foi feita com o intuito de separar as partes maiores do fruto e aumentar o rendimento da parte mais líquida da polpa. Ela foi realizada em panos de algodão (Figura 9) previamente higienizados e obteve uma polpa mais líquida, porém, ainda com grande presença de pectina.



Figura 9. Pectina retirada na filtragem.

3.4. CLARIFICAÇÃO E ESTERILIZAÇÃO

Essa etapa foi realizada com a finalidade de tirar toda a pectina ainda presente na polpa, sendo necessária porque a pectina é um dos inibidores da levedura e reflete no rendimento de álcool formado.

A clarificação foi realizada com uma solução 10% de gelatina incolor solúvel da marca Royal. Foram adicionados 6 mL dessa solução para 1 L de polpa, que posteriormente permaneceu em repouso por 24 h a fim de separar a pectina por meio da floculação com a gelatina. Resultando ao final, em uma mistura bifásica com a fração líquida decantada na parte inferior (Figura 10). A separação foi realizada com auxílio de uma concha e de pipeta. Com o intuito de aumentar o rendimento de líquido, a parte retirada de pectina foi filtrada em tecido de algodão e o líquido extraído foi misturado à outra parte líquida previamente separada.

Após a clarificação foi feita esterilização à 60 °C por 30 minutos, para eliminar qualquer microrganismo que pudesse inibir as atividades das leveduras. Ao final dessas etapas, o mosto sem os nutrientes foi obtido e retirada uma amostra para realizar a acidez titulável.



Figura 10. Etapas da clarificação do suco do caqui.

3.5. PREPARO DO MOSTO

Essa etapa ocorreu com a adição de nutrientes e a sulfitação, visando otimizar o meio para que a levedura tivesse melhor desempenho

A adição de nutrientes, fósforo e nitrogênio foi realizada visando suplementar, as necessidades da levedura. Esses nutrientes foram adicionados ao mosto nas formas de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), e fosfato de potássio (KH₂PO₄), com concentrações de acordo com a concentração de leveduras de cada batelada. Sendo que as duas primeiras bateladas foram realizadas com a concentração de 15 g L⁻¹ de leveduras, e as duas últimas com concentração de 20,4 g L⁻¹.

A adição de sulfitos serve como forma de inibir atividades microbianas sobre a levedura (FAVERO *et al.*, 2011). A sulfitação foi feita na forma de metabissulfito de potássio (K₂S₂O₅) com a concentração também proporcional a de leveduras.

A Tabela 5 mostra a concentração de nutrientes e sulfito utilizados para cada concentração de levedura.

Tabela 5. Relação da concentração de nutrientes para concentração de leveduras.

Nutrientes	15 g L ⁻¹	20,4 g L ⁻¹
(NH ₄) ₂ SO ₄ [g L ⁻¹]	0,2	0,27
KH ₂ PO ₄ [g L ⁻¹]	0,6	0,82
K ₂ S ₂ O ₅ [g L ⁻¹]	0,3	0,41

3.6. FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

A fermentação é a etapa de inoculação das leveduras ao mosto para que elas consumam o substrato e produzam álcool. Elas foram adicionadas na forma de fermento biológico seco comercial, da marca Dona Benta.

Foram realizadas bateladas de 0,5 L cada com dois valores de concentração de levedura a fim de ser avaliada a influência de tal parâmetro no tempo de fermentação e no rendimento de álcool. Cada batelada foi realizada em duplicata para comprovar a reprodutibilidade da reação, completando um total de 4 bateladas, duas com a concentração de 15 g L^{-1} e as outras duas com $20,4 \text{ g L}^{-1}$.

As reações de fermentação foram conduzidas em béquer de vidro, com capacidade de 1 L (Figura 11), sob agitação magnética, com monitoramento a cada hora da temperatura, pH e decaimento de substrato ($^{\circ}\text{Brix}$).

Para cada reação, conhecida por batelada (pelo tipo de reator), foi utilizado 0,5 L de mosto, com dois valores de concentração de levedura, a fim de avaliar a influência desse parâmetro ao final da fermentação, bem como o rendimento de álcool. Para cada valor de concentração de levedura foram realizadas duas bateladas, com o intuito de comprovar a reprodutibilidade da reação, completando um total de 4 bateladas, ou seja, duas com a concentração de 15 g L^{-1} e duas com $20,4 \text{ g L}^{-1}$. O tempo de reação variou de acordo com a concentração de levedura utilizada, sendo que com 15 g L^{-1} foram 30 horas de reação, enquanto que para $20,4 \text{ g L}^{-1}$ de leveduras, a reação ocorreu em 14 horas.



Figura 11. Fermentação do mosto de caqui.

3.7. DECANTAÇÃO

Finalizada a fermentação, o fermentado foi levado à geladeira por 24 h para facilitar a decantação da levedura, pelo fato da levedura ser menos solúvel a baixas temperaturas. Após esse período as leveduras decantaram no fundo do béquer facilitando a retirada do fermentado com auxílio de uma pipeta.

3.8. DESTILAÇÃO

A destilação foi realizada em um aparato de destilação simples (Figura 12), com refluxo, sob a temperatura de 85 °C, durante 3 h. O que restou do fermentado que não foi destilado foi testado em um ebuliômetro para verificação da presença de álcool.

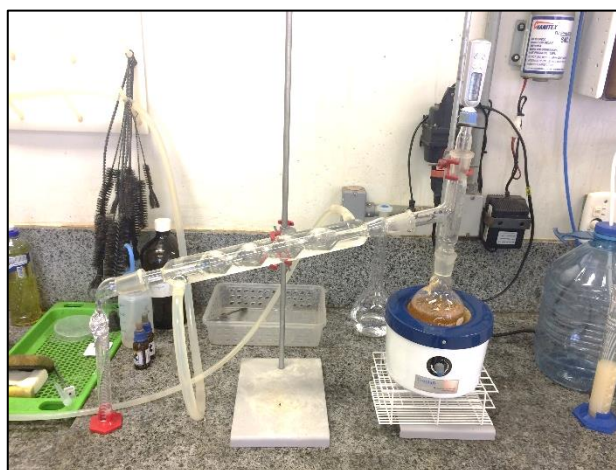


Figura 12. Destilação do fermentado de caqui.

3.9. CARACTERIZAÇÃO DO ETANOL

A qualidade do etanol é o fator que mais influencia quanto à possibilidade de ele ser convertido em *commodities* no mercado internacional. Além disso, está ligado diretamente à sustentabilidade ambiental (STRADIOTTO *et al.*, 2010). A seguir são destacadas algumas importantes análises estruturais e térmicas que foram realizadas neste trabalho.

3.9.1. Teor de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis é um parâmetro que indica a quantidade de sólidos dissolvidos que estão presentes na amostra, como açúcar, sal, proteínas e ácidos. O método mais utilizado em sua determinação se dá por meio da espectroscopia, em que a densidade da amostra é relacionada com seu índice de refração, fornecendo o teor de sólidos solúveis, em °Brix. Uma escala numérica que mede a quantidade de sacarose dissolvida no meio, em que 1 °Brix equivale a 1 grama de açúcar em 100 gramas da amostra. (SILVA *et al.*, 2002). O teor de sólidos solúveis foi determinado por meio de um refratômetro portátil do modelo Q767, com precisão 0,2 °Brix. As medições foram realizadas durante o preparo do mosto e durante a fermentação a cada hora, a fim de se obter a curva da cinética fermentativa. O fabricante disponibilizou um programa no Excel que faz o ajuste de correção do °Brix durante a fermentação, pelo fato dos erros de leitura associados e por conter levedura no mosto.

3.9.2. Potencial hidrogeniônico – pH

Essa análise funciona como um indicador quanto à acidez ou alcalinidade podendo variar de 1 a 14, sendo considerado neutro em torno de 7 e podendo assumir caráter ácido ou básico conforme se afasta no ponto de neutralidade. Segundo a determinação da ANP, o pH do etanol deve permanecer na faixa de 6 a 8 (ANP, 2011). Para determinação do pH tanto do etanol, quanto do mosto durante a fermentação foi utilizado um medidor de pH digital, de bolso, do modelo MH-1072, com eletrodo de vidro, de precisão $\pm 0,1$, calibrado com soluções tampão de pH 6,86 e 4,01.

3.9.3. Acidez total titulável - A.T

Essa análise baseia-se na neutralização dos ácidos presentes na amostra por meio de uma solução alcalina na presença de um indicador. Foi utilizado o método do Instituto Adolfo Lutz (2005), que consiste na titulação de 50 mL da amostra do fermentado, com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L⁻¹, na presença de fenolftaleína e sob agitação até o ponto de viragem (mudança de cor). A A.T foi calculada a partir da Equação 3 e expressa em gramas de ácido acético por 100 mL de amostra.

$$A.T = \frac{n \cdot M \cdot f \cdot P_M}{10 \cdot V} \quad (3)$$

em que:

n – volume gasto na titulação da solução de hidróxido de sódio, em mL

M – molaridade da solução de hidróxido de sódio

f– fator de correção da solução de hidróxido de sódio

P_M – peso molecular do ácido acético (60 g)

V – volume tomado da amostra, em mL

3.9.4. Rendimento da Polpa

O rendimento da polpa do caqui analisa a relação da quantidade de frutos utilizados com a quantia de mosto obtida após todos os processamentos. Dessa forma, os frutos do caqui foram pesados antes de congelados e esse valor foi comparado com o volume de mosto obtido para a fermentação, obtendo o rendimento em Kg de caquis/ L de mosto.

3.9.5. Graduação alcóolica – G.A

Essa análise determina a porcentagem de álcool em volume, a fim se obter a graduação alcóolica (°GL). Nesse trabalho, essa determinação foi obtida de duas maneiras: teórica e por ebulliometria.

3.9.5.1. Teórico

A partir das medições do teor de sólidos solúveis, é possível obter uma estimativa do teor alcóolico, em °GL, a partir da relação do °Brix com a densidade relativa³, derivada da tabela de conversão de sucrose do departamento de agricultura dos Estados Unidos (1981), que pode ser representada pela Equação 4.

$$SG = 1 + \frac{T_{ss}}{258,6 - \left(\frac{T_{ss}}{258,2}\right) \cdot 227,1} \quad (4)$$

onde:

SG – densidade relativa, em Kg.m⁻³

T_{ss} – teor de sólidos solúveis em °Brix

E a obtenção do teor alcóolico é dada pela diferença entre duas medidas da densidade específica (Equação 5) (FERREIRA *et al.*, 2013).

³ Densidade relativa: relação entre a densidade de uma substância e a densidade da água (MATOSO, 2013).

$$G.A = \Delta SG * 131 \quad (5)$$

onde:

G.A – graduação alcoólica em °GL

ΔSG – variação da gravidade específica

Todos os cálculos realizados para determinação teórica da graduação alcoólica foram realizados no programa Microsoft Excel, e as tabelas com os valores para cada hora de medição, bem como as medidas de pH e temperatura encontram-se no Anexo A.

3.9.4.2. Ebuliometria

Essa determinação é feita utilizando um ebuliômetro (Figura 13). Foram transferidos 50 mL da amostra fermentada para a caldeira do ebuliômetro, posteriormente água gelada foi acrescentada no condensador até que ele enchesse por completo. E então, a lamparina foi acesa para aquecer a caldeira. Por meio do termômetro acoplado na caldeira, foi possível medir a temperatura de ebulição do fermentado. O teor alcoólico foi obtido a partir da conversão da régua calibrada com a temperatura de ebulição da água (LOPES & SILVA 2006).

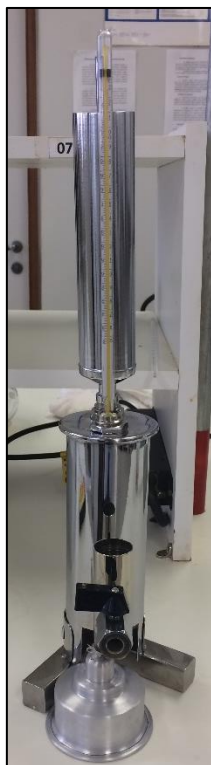


Figura 13. Ebuliômetro utilizado para determinação da graduação alcoólica.

3.9.6. Rendimento da fermentação ($Y_{P/S}$)

Esse parâmetro determina o rendimento da fermentação alcoólica relacionando a variação da concentração de etanol formado (ΔP), em $g L^{-1}$, com a variação da concentração de substrato consumido (ΔS), $g L^{-1}$, dado pela Equação 6.

$$Y_{P/S} = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (6)$$

3.9.7. Produtividade Volumétrica de Etanol (Q_P)

Essa análise determina a produtividade da fermentação alcoólica relacionando a variação da concentração de etanol formado (ΔP), $g L^{-1}$, e o tempo total da reação (t), conforme a Equação 7.

$$Q_P = \frac{\Delta P}{t} \quad (7)$$

3.9.8. Eficiência da fermentação (η)

A eficiência da reação de fermentação é dada em porcentagem, a partir da relação entre o rendimento teórico e o rendimento que foi obtido, como mostra a Equação 8.

$$\eta = \frac{Y_{P/S} \text{ (obtido)}}{Y_{P/S} \text{ (teórico)}} \times 100 \quad (8)$$

3.9.9. Taxa de consumo de substrato (Q_S)

Esse parâmetro relaciona a variação do consumo do substrato (ΔS) e o tempo de reação (t), dado pela Equação 9.

$$Q_S = \frac{\Delta S}{t} \quad (9)$$

3.9.10. Ressonância magnética nuclear de hidrogênio – RMN 1H

Essa análise mostra características acerca da estrutura molecular. Ela é baseada no princípio da ressonância magnética, em que a amostra é submetida a um campo magnético constante, e um pulso de curta duração excita simultaneamente todos os prótons fazendo com que eles absorvam a frequência necessária para excitar seus spins. Porém, ao retornarem a seu estado de equilíbrio, produzem um sinal na

frequência referente à diferença de energia e esse sinal vai decaindo à medida que os núcleos perdem a energia que foi recebida pelo pulso. Esse sinal é registrado e, por meio de um software, é tratado e enviado como um espectro de intensidade pelo tempo (BRUICE, 2006). Os espectros de RMN foram adquiridos na Central Analítica do IQ-UnB, utilizando um espectrômetro Bruker Avancer III HD, 14 T e frequência de 600 MHz, referenciado ao óxido deuterado (D₂O). O espectrômetro foi equipado com uma sonda BBFO de 5 mm de diâmetro, com intervalo de pulsos de 1,0 s e com 16 transientes. Os deslocamentos químicos (δ) foram expressos em ppm e as multiplicidades definidas de modo usual, s (simpleto), d (duplete), dd (tripleto), t (tripleto), q (quadruplete), m (multiplete). Os FIDs de RMN ¹H foram processados no programa 2D RMN *processor*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO MOSTO

A Tabela 6 mostra a caracterização físico-química do mosto do caqui antes da fermentação.

Tabela 6. Características físico-químicas do mosto do Caqui

Parâmetros Analisados	Valor obtido
Teor de sólidos solúveis [°Brix]	16,7 ± 0,23
pH	4,32 ± 0,13
Acidez total titulável [g de ácido acético L ⁻¹ do mosto]	7,29 ± 0,0025
Rendimento da polpa [Kg de caqui L ⁻¹ do mosto]	1,67 ± 0,0005

Para avaliação do teor de sólidos solúveis, DE SOUSA & MONTEIRO (2011) mostraram que é recomendado um limite de 25 °Brix para fermentação, pois valores mais elevados prolongam o tempo da reação e podem afetar outros parâmetros, como temperatura e conversão de álcool. Segundo FERRI & SAGGIN (2014), o teor de sólidos solúveis de uma biomassa pode variar de acordo com a região, com as condições climáticas de cultivo, e com o estado de maturação do fruto. Essa variação é observada ao comparar o teor de sólidos solúveis deste trabalho com o valor obtido no estudo de AZEVEDO *et al.*, (2007), em que os caquis utilizados possuíam um teor bem inferior, sendo 12 °Brix e, nesse caso, necessário chaptalizar para a fermentação.

Entretanto, NUNES *et al.* (2009) encontraram em sua pesquisa valores semelhantes, em que o mosto do caqui apresentou 16 °Brix, e foi chaptalizado a fim de se obter um vinho com maior graduação alcoólica. Quando comparado com outras culturas, o caqui apresentou um maior teor de sólidos solúveis do que as frutas analisadas. A jaca apresenta um teor de 12 °Brix, como é mostrado no trabalho de ASQUIERI *et al.* (2008). A amora preta apresentou, no trabalho de FERRI & SAGGIN (2014), um teor de 9,7 °Brix. O cajá obteve uma média de 12,7 °Brix, no estudo de DIAS *et al.* (2003). E a cana de açúcar, que é uma das culturas que possui um dos maiores teores de sólidos solúveis, e principal fonte de produção de etanol no Brasil, mostrou um teor de 21,2 °Brix (MASSON *et al.*, 2015).

O pH ideal para fermentação utilizando a *Saccharomyces cerevisiae* é de 4,5 a 5,5, e é nessa faixa de variação que ocorre inibição de microrganismos que prejudicam a ação das leveduras, como algumas bactérias (DE SOUSA & MONTEIRO, 2011). Entretanto, os mesmos autores apontaram que o meio para fermentação ajustado com pH entre 4,0 e 5,0 mostra-se viável, sendo que inferior a 4,0 ocorre o aumento da produção de álcoois superiores e com o pH superior a 5,0 pode ocorrer o aumento da produção de ácido acético e furfural (DE SOUSA & MONTEIRO, 2011). No trabalho desenvolvido por AZEVEDO *et al.*, (2007), foi realizada a fermentação do caqui analisando a influência da variação do pH inicial no resultado final, sendo utilizados dois valores, 4,5 e 5,5, entretanto, foi concluído que não houve alteração significativa para essa variação, o que é coerente, uma vez que essa variação foi realizada dentro da faixa de valores ideais para fermentação. No estudo desenvolvido por NUNES *et al.* (2009) a fermentação ocorreu em um meio com pH mais semelhante ao deste trabalho, com 4,1, e apresentou resultados positivos quanto à conversão de substratos e geração de etanol, mostrando que o meio estava propício para a ação das leveduras.

Segundo a legislação brasileira (1997), o teor de acidez total indicado para fermentados é na faixa de (3,3 a 7,8) g L⁻¹. Nesse trabalho, este foi determinado em porcentagem de ácido acético, que é o principal ácido liberado no meio durante a fermentação (ALMEIDA *et al.*, 2006). O valor obtido (7,29 g L⁻¹) foi similar ao encontrado por NUNES *et al.* (2009) no estudo realizado sobre a produção do vinho do caqui, onde obtiveram um valor inferior a 7,8 g de ácido acético em 1 L de mosto. Valores semelhantes foram observados por NETO *et al.* (2005) na fermentação do mosto do caju, em que a acidez total foi de 7,2 g de ácido acético por litro de mosto.

Outra fruta que obteve comportamento semelhante foi a jaca. No estudo realizado por ASQUIERI *et al.* (2008) foi obtido uma concentração de ácido acético de 6,0 g L⁻¹.

No trabalho de NUNES *et al.* (2009) foi obtido um rendimento de 0,25 Kg do fruto do caqui para formação de 1 L de mosto. Valor esse bem inferior ao obtido neste estudo, que foi de 1,67 Kg L⁻¹. Entretanto, essa diferença é justificada pela diferente forma de preparo do mosto. Neste trabalho foi realizado o congelamento dos frutos para obtenção do suco, o que diminui o rendimento devido à perda de parte da polpa pastosa do caqui, mas que em contrapartida não altera o teor de sólidos solúveis do meio e torna desnecessária a chaptalização. Já no trabalho dos autores citados, o suco é obtido a partir da diluição da polpa em água, o que aumenta o rendimento dos frutos no preparo do mosto, mas que gera uma queda do teor de sólidos solúveis, tornando necessária a chaptalização.

4.2. CINÉTICA FERMENTATIVA E GRADUAÇÃO ALCOÓLICA

4.2.1. Primeira e Segunda Batelada

A primeira e a segunda batelada foram realizadas com concentração de 15 g L⁻¹ de levedura no mosto, de pH de 4,0, e com teor de sólidos solúveis iniciais de 15 e 12,8 °Brix, respectivamente. Essa diferença se deu porque durante a etapa de filtração com tecido, o mesmo foi lavado antes do término da filtração, de forma que a água retida nele diluiu parte do mosto, reduzindo o seu teor inicial de açúcares. Porém, é importante ressaltar que antes da filtração ele apresentava 15° Brix.

Com essa concentração, foi iniciada a fermentação da primeira batelada com aproximadamente 7 horas de reação, enquanto que a segunda, de menor °Brix inicial demorou mais do que o dobro, começando com 15 horas. Contudo, ambas tiveram duração de 27 horas, marco em que não houve mais variação do teor de sólidos solúveis.

As Figuras 14 e 15 mostram as cinéticas fermentativas das reações da primeira e segunda batelada, onde é possível observar o mesmo comportamento em ambas, o consumo de substrato (açúcar) por parte das leveduras na mesma proporção em que o álcool é formado em função do tempo de reação.

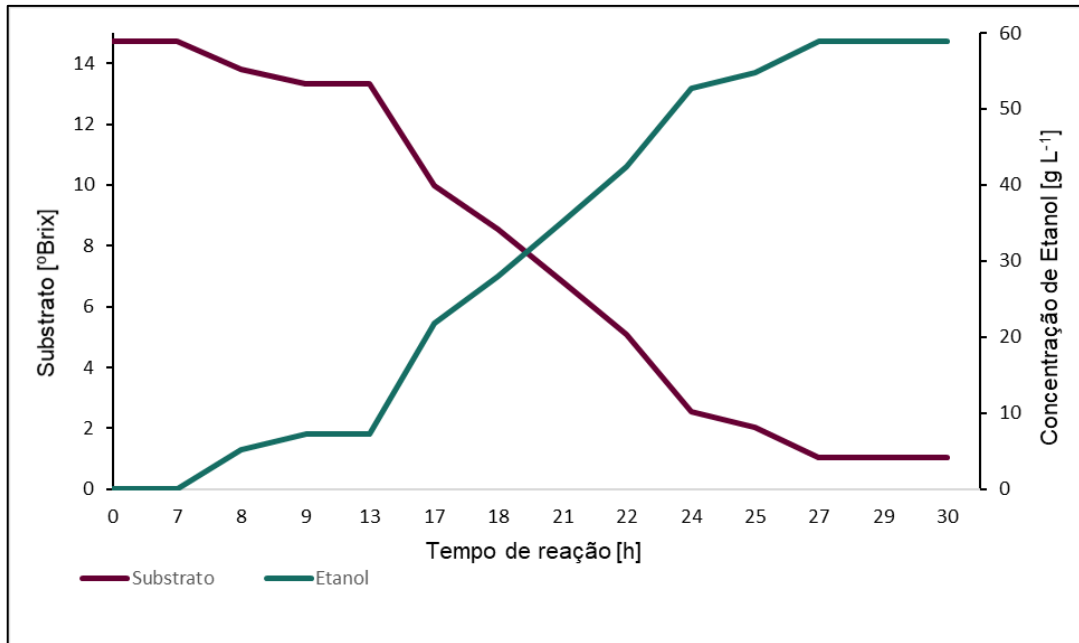


Figura 14. Cinética fermentativa da 1ª batelada

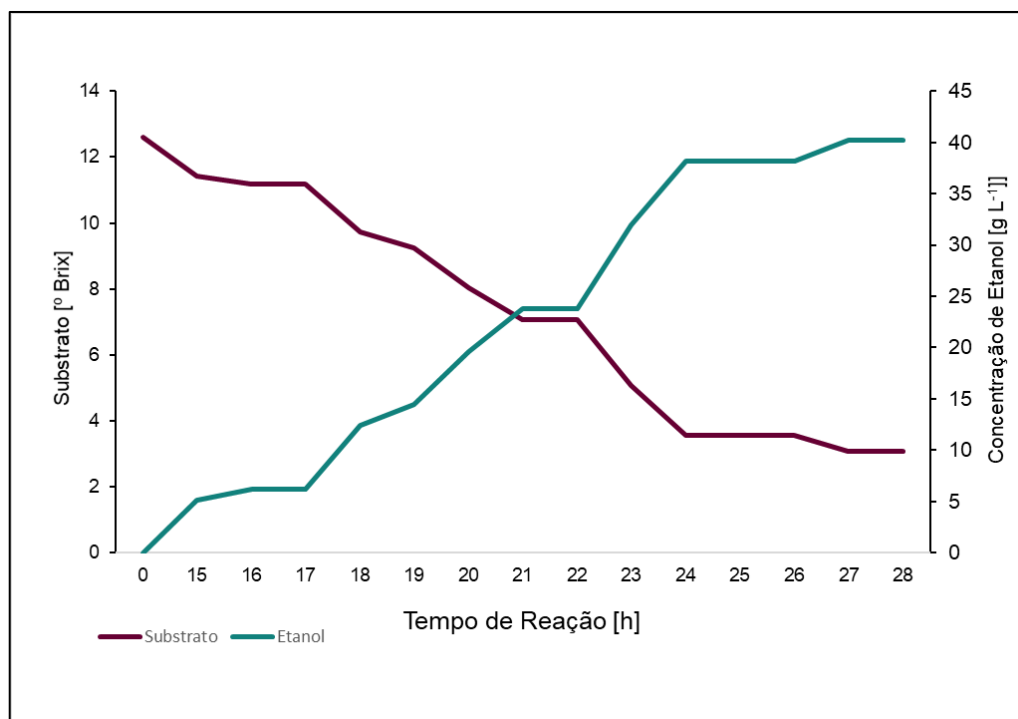


Figura 15. Cinética fermentativa da 2ª batelada

Quanto o teor de álcool formado, o que foi obtido a partir da 1ª batelada só foi calculado teoricamente, pelo fato do ebuliômetro ter sido adquirido após a reação de fermentação da 1ª batelada e ainda pela pouca quantidade de produto obtido. A Tabela 7 mostra de forma comparativa as graduações alcoólicas.

Tabela 7. Concentração alcoólica das 1ª e 2ª bateladas.

Métodos	1ª Batelada	2ª Batelada
Teórico [g L ⁻¹]	58,91	40,25
Ebuliômetro [g L ⁻¹]	-	41,03

A diferença entre a graduação alcoólica das duas bateladas era esperada, uma vez que o teor de sólidos solúveis inicial foi diferente. Entretanto, como forma de se analisar a reprodutibilidade da equação, foi analisada a graduação alcoólica na primeira batelada até o momento em que foram consumidos 6 °Brix, que foi o consumo equivalente de toda a fermentação da segunda batelada (Tabela 8):

Tabela 8. Graduação alcoólica das 1ª e 2ª bateladas com o mesmo consumo de °Brix.

Métodos	1ª Batelada	2ª Batelada
Teórico [g L ⁻¹]	43,38	40,25
Ebuliômetro [g L ⁻¹]	-	41,03

4.2.2. Terceira e Quarta Batelada

As 3ª e 4ª bateladas foram realizadas com concentração de 20,4 g L⁻¹ de levedura em mosto. Ambas começaram com o mesmo teor de sólidos solúveis, 18,2 °Brix e tiveram também o mesmo comportamento observado nas primeiras bateladas, ou seja, começaram a fermentar após 2 horas de reação e a fermentação durou 13 horas, ponto em que o teor de substrato não variou mais, e as duas fermentaram até 7,2 °Brix, o equivalente a um consumo de 11 °Brix. Essas considerações podem ser observadas nas Figuras 16 e 17, que representam a cinética fermentativa para as duas reações.

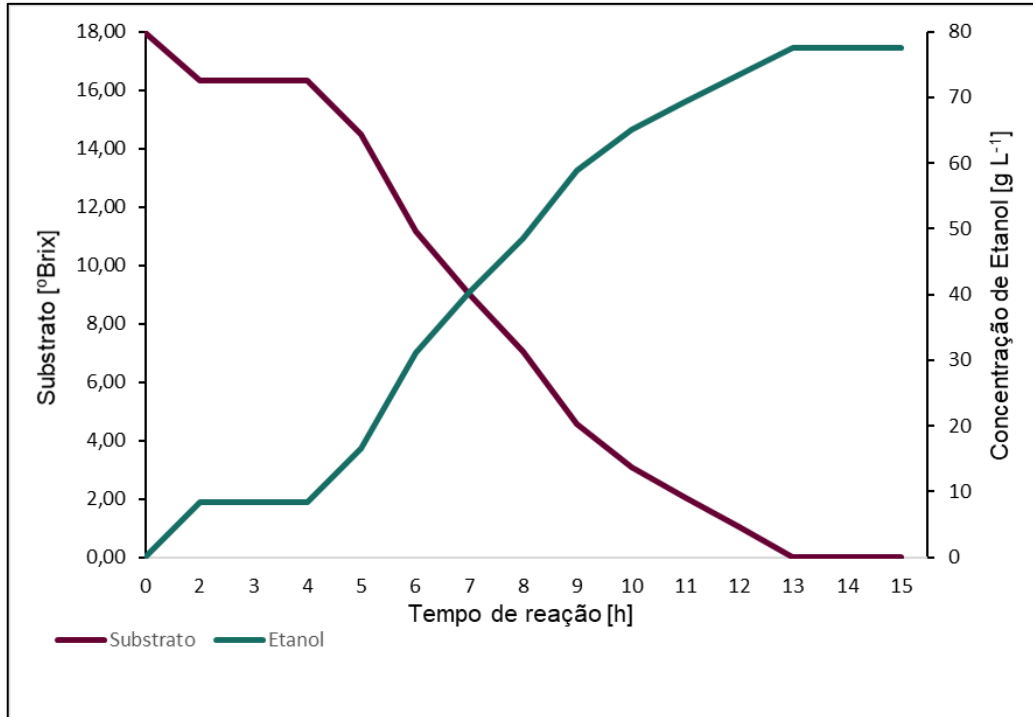


Figura 16. Cinética fermentativa da 3ª batelada.

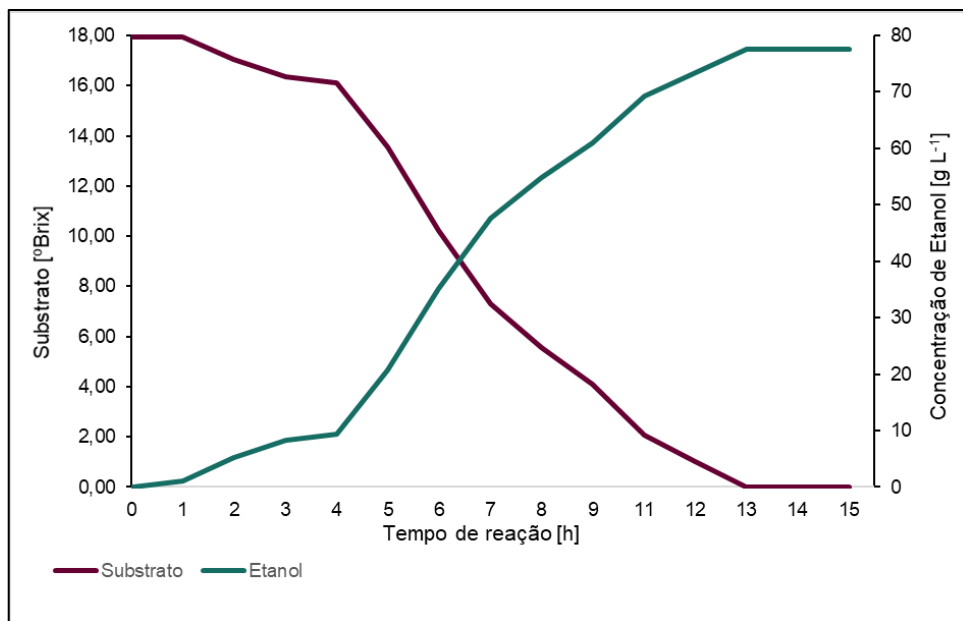


Figura 17. Cinética fermentativa da 4ª batelada.

Com relação à graduação alcoólica, ambas as reações obtiveram teores parecidos, o que era esperado, uma vez que o consumo de substrato foi igual para as duas. A Tabela 9 mostra as graduações alcoólicas e teórica obtidas pelo ebuliômetro.

Tabela 9. Graduação alcoólica das 3ª e 4ª bateladas.

Métodos	3ª Batelada	4ª Batelada
Teórico [g L ⁻¹]	73,38	73,38
Ebuliômetro [g L ⁻¹]	63,51	62,48

4.2.3. Comparação entre as concentrações

A partir os resultados obtidos é possível analisar a influência da concentração de leveduras no mosto para a reação de fermentação, principalmente para a cinética. Com a concentração de 20,4 g L⁻¹ a reação de fermentação começou bem mais rápida do que com 15 g L⁻¹, sendo que com esta, a reação chegou a demorar até 15 horas para que iniciasse, tempo esse maior do que o que levou toda a reação com maior concentração de leveduras por litro.

Outro ponto observado é o consumo de substrato, com maior concentração de leveduras, a curva que representa o decaimento ocorre em forma de um grande declínio, enquanto que com menor concentração a curva apresenta pequenos picos, chegando até mesmo ficar constante por um período na reação de 2ª batelada. De forma análoga, a geração de etanol ocorre da mesma forma, uma vez que ele é proporcional ao decaimento de açúcar.

Além disso, o tempo total de reação é algo importante de se observar, sendo que com mais leveduras no mosto, o consumo do substrato ocorre de forma mais rápida, fazendo com que a reação ocorra em menos tempo do que quando é menor a concentração.

Esses pontos são constatados ao se analisar os parâmetros da cinética fermentativa, como o rendimento, a produtividade, a eficiência da fermentação e a velocidade de consumo do substrato. Os valores obtidos referentes às quatro bateladas podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros da cinética fermentativa.

Parâmetros	1ª Batelada	2ª Batelada	3ª Batelada	4ª Batelada
$Y_{P/S}$	0,39	0,39	0,40	0,40
Q_P [g L ⁻¹ h ⁻¹]	2,11	1,49	5,64	5,64
Q_S [g L ⁻¹ h ⁻¹]	5,28	3,78	14,16	14,16

η [%]	77,87	77,10	78,02	78,02
------------	-------	-------	-------	-------

Paras as bateladas 3 e 4 foram obtidos os mesmos valores em todos parâmetros analisados de cinética fermentativa, o que é coerente, uma vez que ambas apresentaram a mesma concentração de substrato, que foi consumido no mesmo intervalo de tempo, gerando etanol de mesma graduação alcoólica. Já a diferença entre os parâmetros cinéticos da primeira e segunda batelada pode ser justificada pela desigualdade de concentração de substrato no mosto, que é dada em função da diferença de teor de sólidos solúveis inicial de cada uma delas, sendo o da segunda batelada inferior ao da primeira, 12,8 e 15 °Brix, respectivamente. Essa diferença se refletiu nos valores da produtividade volumétrica de etanol (Q_P) e taxa de consumo do substrato (Q_S), que são os fatores que mais diferem entre uma batelada e outra. Isso ocorre porque ambas tiveram o mesmo tempo de fermentação com diferentes consumos de substrato, ou seja, na segunda batelada ocorreu menos consumo de substrato, no mesmo intervalo de tempo do que a primeira, justificando assim a eficiência ser a mais baixa dentre todas as bateladas.

Outro ponto a ser observado é a comparação entre os valores obtidos com as duas concentrações de leveduras diferentes. A reação realizada com maior concentração obteve a velocidade de consumo do substrato e a produtividade do etanol bem superior à de menor concentração. Isso é decorrente do tempo de reação, que foi bem menor para as 3ª e 4ª bateladas e que acabou resultando também em fermentações de maiores eficiências.

Analisando esses parâmetros cinéticos presentes na literatura e comparando ao trabalho desenvolvido por FERRI & SAGGIN (2014) para a fermentação da amora preta foi obtido um rendimento de etanol ($Y_{P/S}$) de 0,46 (g/g) e uma eficiência (η) de 90%, com a produtividade volumétrica de etanol (Q_P) de 0,63 g L⁻¹ h⁻¹. Ainda para o mesmo fruto, LIMA (2014) descreveu valores semelhantes aos obtidos nesse trabalho, com rendimento de 0,39 (g/g), eficiência de 76%, produtividade volumétrica de etanol de 1,78 g L⁻¹ h⁻¹ e taxa de consumo de substrato de 4,6 g L⁻¹ h⁻¹. Já na fermentação do fruto do mandacaru, ALMEIDA *et al.*, (2006) obtiveram um rendimento de 0,46 (g/g), com eficiência de 90,2% e com produtividade de etanol de 1,75 g L⁻¹ h⁻¹. LOPES *et al.*, (2006) encontraram para a fermentação do fruto da palma forrageira rendimento de 0,39 (g/g), com eficiência de 73,09 % e produtividade de etanol de 2,6 g L⁻¹ h⁻¹. O que mais difere neste trabalho quando comparado com outros é a taxa de consumo de

substrato, porém isso é justificado pela concentração de levedura e pelo curto tempo de reação.

Quanto ao teor alcoólico, as reações de maiores concentrações apresentaram maior graduação, uma vez que o teor de sólidos solúveis inicial foi maior do que as realizadas com menor concentração de leveduras. Contudo, é possível observar o tempo em que as 3ª e 4ª reações levaram para atingirem o grau alcoólico em torno de 5,1 °GL, valor próximo ao obtido nas 1ª e 2ª reações, sendo que com 20,4 g L⁻¹, esse valor foi atingido com 7 horas de reação, enquanto que para as outras duas ocorreu em cerca de 27 horas.

4.3. RMN ¹H

As Figuras 18 e 19 apresentam os espectros obtidos nas análises de RMN ¹H para os álcoois produzidos a partir da fermentação com concentrações de leveduras de 15 g L⁻¹ e 20,4 g L⁻¹, respectivamente.

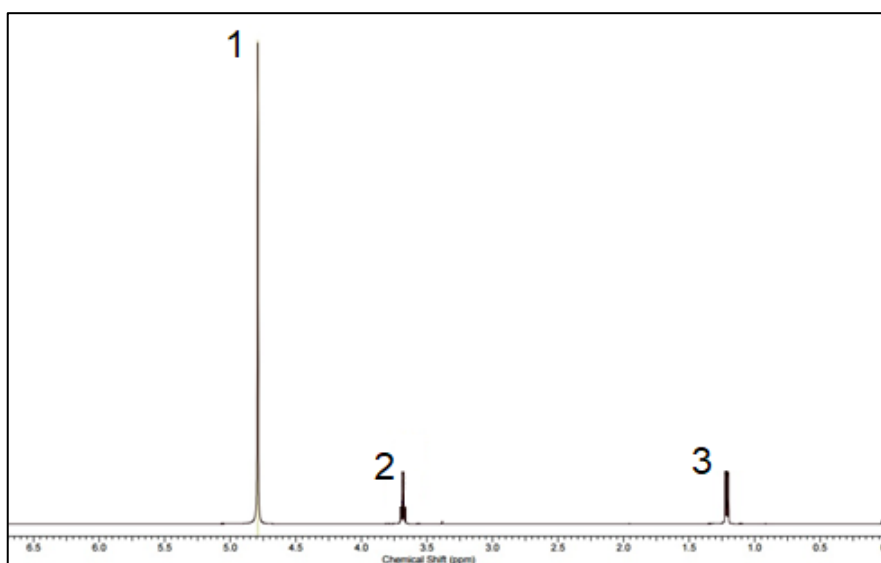


Figura 18. Espectro de RMN ¹H - Concentração 15 g L⁻¹.

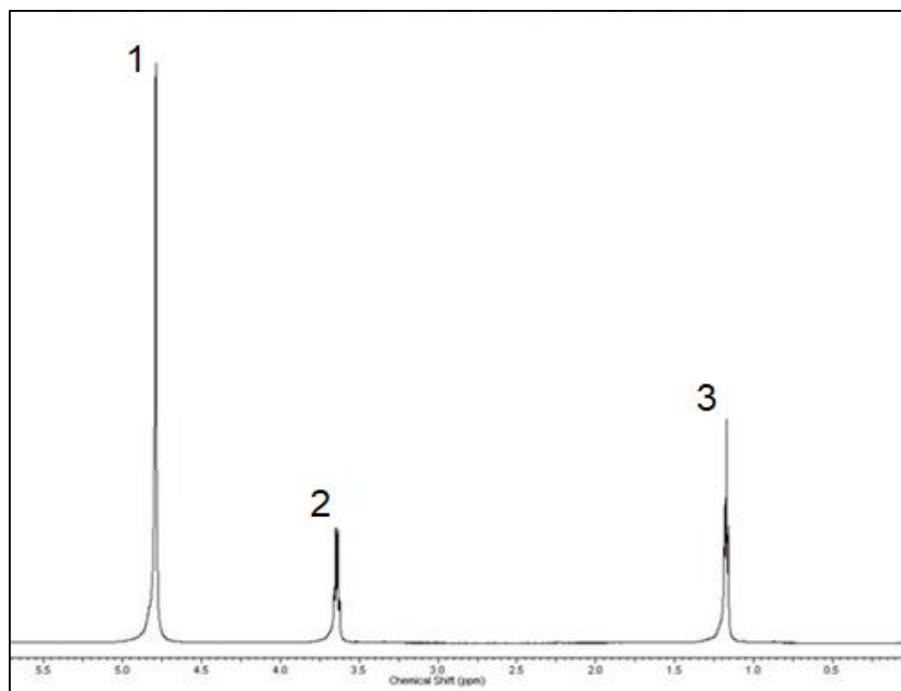


Figura 19. Espectro de RMN ¹H - concentração 20,4 g L⁻¹.

Os dois espectros não apresentaram diferenças quanto a quantidade de sinais e sim, apenas nas intensidades deles, que está relacionada com a concentração de álcool obtido, sendo que o produzido com maior concentração de leveduras possui maior graduação alcoólica, que se reflete no tamanho dos sinais.

A análise por RMN ¹H fornece resultados acerca da estrutura molecular da amostra, onde os picos de seu espectro estão relacionados à absorção de energia pelos núcleos do hidrogênio de cada molécula (BRUICE, 2006). Para melhor análise, é preciso observar a composição da molécula do etanol, representada na Figura 20.

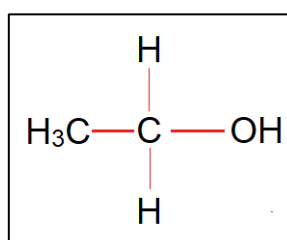


Figura 20. Molécula de Etanol.

Baseado no trabalho desenvolvido por GOTTlieb *et al.* (1997), é possível determinar o que representa cada pico do espectro, analisando a partir do solvente utilizado, nesse caso a água deuterada (D₂O). A Tabela 11 apresenta cada um desses componentes de cada um dos três picos identificados.

Tabela 11. Identificação dos picos do espectro de ^1H RMN.

Pico	Faixa no espectro – ppm	Componente
1	4,79	Solvente residual
2	1,17	CH_3
3	3,65	CH_2

É importante esclarecer que o OH não foi representado sozinho porque com o solvente utilizado não houve a identificação da troca de sinais de prótons referentes a ele, porém foi observado a interação de seu acoplamento com CH_2 .

Segundo BERLINCK (2008), o hidrogênio do OH é o que possui maior frequência de ressonância, isso ocorre porque por estar ligado a um oxigênio, ele recebe maiores frequências devido a eletronegatividade do oxigênio que acaba atraindo o elétron do hidrogênio para si e diminui o efeito do campo magnético, fazendo com que o próton desse hidrogênio não ‘ressone’ na mesma intensidade do que os prótons de hidrogênio dos outros compostos. Com a mesma justificativa se explica a razão do pico referente ao CH_3 ser maior do que o de CH_2 , uma vez que por não estar ligado ao oxigênio, os hidrogênios do CH_3 recebem menores frequências por possuírem ligações menos eletronegativas, o que aumenta o efeito do campo magnético sobre eles, e faz com que eles ressonem com mais intensidade.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi estudada a obtenção e caracterização do etanol a partir do mosto do caqui Rama forte. Com os resultados obtidos dessa pesquisa, podem ser destacadas as seguintes conclusões.

O caqui mostrou-se como uma biomassa promissora para a produção de etanol, tendo em vista que suas propriedades físico-químicas são satisfatórias para fermentação, com destaque para o teor de sólidos solúveis. A técnica de obtenção de etanol, portanto, mostrou-se viável e a reação ocorreu com êxito.

O rendimento em peso foi satisfatório, embora tenha sido realizado o congelamento dos frutos para obtenção do mosto, procedimento que acarreta a perda de parte da polpa, mas que em contrapartida, não alterou o teor de sólidos solúveis do meio, dispensando a chaptalização.

A fermentação do mosto do caqui apresentou parâmetros cinéticos coerentes com os encontrados na literatura, sendo que a reação realizada com concentração de leveduras de 20,4 g L⁻¹ apresentou produtividade de etanol e consumo de substrato superiores à realizada com 15 g L⁻¹.

A graduação alcoólica da fermentação do mosto do caqui apresentou valor aceitável, quando comparado tanto com os trabalhos de fermentação do caqui, quanto com os de outras culturas, principalmente a da cana-de-açúcar. Além disso, o mosto do caqui apresenta elevado teor e sólidos solúveis, inicialmente 18,2 °Brix, sem a necessidade de chaptalizar e corrigir o pH do meio.

A acidez titulável apresentou resultado satisfatório, abaixo de 7,8 g de ácido acético em 1 L de mosto e dentro da faixa determinada pela legislação brasileira para fermentados (3,3 a 7,8) g L⁻¹, bem como próximo a valores comparados a estudos da literatura.

O espectro de RMN ¹H do etanol confirmou que houve a obtenção do referido álcool a partir dos sinais referentes à sua estrutura molecular

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, A. S. **Sequenciado do genoma da levedura produtora do etanol**. Agência Fapesp, 2009. Disponível em: < http://agencia.fapesp.br/levedura_mutante/11204/>, acessado em novembro de 2016.

ALMEIDA, E.; JUNIOR, R. B.; CORTEZ, L.A.B. Energia da Cana-de-Açúcar. In: SANTOS, F. *et al.* **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. UFV. Viçosa. Brasil, 2013 p. 41.

ASQUIERI, E. R.; RABÊLO, A. M. S; SILVA, A. G. M. **Fermentado de jaca: estudo das características físico-químicas e sensoriais**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 28, n. 4, 2008.

BERNARDINO, K. C. *et al.* **Caracterização de Cultivares de Sorgo Sacarino Visando a Produção de Etanol de Primeira e Segunda Geração**. XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Águas de Lindoia, SP, 2012.

BLUM, J.; HOFFMANN, F.B.; AYUB, R.A.; PRADO, P.V.B.; MALGARIN, M.B. **Destanizacao do caqui “Giombo” com etanol e ethephon**. Revista Ceres, v. 55, n. 1, p. 054, 2008.

BNDE/CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. BNDES, 2008.

BOTANA, G. S.; RIOS, A.O.; BONA, G. S.; **Tecnologia para Processamento Mínimo de Caqui Cultivar Chocolate**. 2013.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&no=1>, acessado em abril de 2017.

BRUICE, P. Y. **Química orgânica**. Pearson Education do Brasil, 2006. Vol. 1 ed. 4 p.527.

BUCKERIDGE, M. S. *et al.* As Rotas para o Etanol Celulósico no Brasil. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. Blucher: São Paulo, 2010. p. 365.

BUCKERIDGE, M. S.; DO SANTOS, W. D.; DE SOUZA, A. P. As Rotas para o Etanol celulósico no Brasil. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. Blucher: São Paulo, 2010. p. 364.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Matriz Energética: cenários, oportunidades e desafios**. Brasília: CNI, 2007

CORAZZA, M.L.; RODRIGUES, D.G.; NOZAKI, J.; **Preparação e caracterização do vinho de laranja**. Química nova, v. 24, n. 4, p. 449-452, 2001.

CORDEIRO, IMCC *et al.* **Cultivo e Produção Agroambiental Sustentável de Curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* (L.B.Sm.) Coppins & F.Leal, Bromeliaceae) no Nordeste Paraense-Pa**. Embrapa, Amazônia: 2011.

CORTEZ, L. A. B., *et al.* Energia da Cana-de-Açúcar biocombustíveis. In: SANTOS, F. *et al.* **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. UFV. Viçosa. Brasil, 2013. p.17

CORTEZ, L. A. B., *et al.* Produção Agrícola da Cana-de-açúcar sobre a perspectiva da produção dos biocombustíveis. In: SANTOS, F. *et al.* **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. UFV. Viçosa. Brasil, 2013. p.70.

DE ALMEIDA, E. F.; JUNIOR, H. Q. P.; BOMTEMPO, J. V. **Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Elsevier, 2007, p.78.

DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F.; LIMA, L.C.O.; **Methodology for elaboration of fermented alcoholic beverage from yellow mombin (*Spondias mombin*)**. Food Science and Technology (Campinas), v. 23, n. 3, p. 342-350, 2003.

DO CARMO, V. B.; TANNOUS, K. Integrando competências essenciais para a biorrefinaria Sucroalcoólquímica. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. Blucher: São Paulo, 2010. p. 118-119.

ELIAS, N.F.; BERBERT, P.A.; MOLINA, M.A.B.; VIANA, A.P.; DIONELLO, R.G.; QUEIROZ, V.A.V. **ELIAS, Avaliação nutricional e sensorial de caqui cv Fuyu submetido à desidratação osmótica e secagem por convecção**. Food Science and Technology (Campinas), v. 28, n. 2, p. 322-328, 2008.

FAVERO, D. M.; RIBEIRO, C. S. G.; DE AQUINO, A. D.; **Sulfitos: importância na indústria alimentícia e seus possíveis malefícios à população**. Segurança Alimentar e Nutricional, v. 18, n. 1, p. 11-20, 2011.

FERREIRA, V. S.; MARTINS, P. K. B.; TRINDADE, J. L. F.; TOZETTO, L. M. **Produção de cerveja artesanal com gengibre**. 8º encontro de engenharia e tecnologia dos campos gerais, Ponta Grossa, PR, p. 1-9, ago. 2013.

FERRI, M. J., SAGGIN, R.. **Elaboração de fermentado alcoólico de amora-preta (*Rubus spp.*) com mel de abelha (*Apis mellifera*)**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FONTAN, R. C. I.; VERÍSSIMO, L. A. A.; SILVA, W. S.; BONOMO, R. C. F.; VELOSO, C. R.; **Cinética da Fermentação alcoólica na elaboração de vinho de melancia**. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v. 29, n. 2, 2011.

FURLAN, V. J. M. **Produção de bioetanol a partir de resíduos celulósicos da agroindústria do arroz**. Tese de doutorado, 2009.

GONÇALVES, Emerson Dias *et al.* **ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DE CAQUI 'FUYU'(Diospyros kaki) EM ATMOSFERA MODIFICADA COM FILME DE POLIETILENO**. Current Agricultural Science and Technology, v. 12, n. 2, 2014.

GUIMARÃES, T.G. **Cultura do caqui**. Brasília: Embrapa – CPAC, 2007.

HERAS, M.R.; PINAZO, A.; HEREDIA, A.; ANDRÉS, A. **Evaluation studies of persimmon plant (Diospyros kaki) for physiological benefits and bioaccessibility of antioxidants by in vitro simulated gastrointestinal digestion**. Food chemistry, v. 214, p. 478-485, 2017.

HOFSTRAND, D. **Brazil's ethanol industry**. Ag Decision Maker, v. 13, n. 3, p. 2, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA ECÔNOMICA APLICADA. **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016.

LEAL, M. R. L. V. Evolução Tecnológica do Processamento da Cana-De-Açúcar para Etanol e Energia Elétrica. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. Blucher: São Paulo, 2010. p. 562 - 567.

LEAL, M. R. L. V. L. *et al.* Outras Matérias-primas para a Produção do Etanol. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. Blucher: São Paulo, 2010. p. 519.

LEITE, R. C. C. *et al.* **Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol?**. Energy, v. 34, p. 655-661, 2009.

LOPES, P.R.C.; OLIVEIRA, I.V.M.; DE OLIVEIRA, J.E.M.; ASSIS, J.S. **Cultivo do Caquizeiro no Vale do São Francisco**. Circular Técnica Online, ISSN 1808-9976, Petrolina, 2014.

LOPES, R.V.V.; SILVA, F.L.H.; **Elaboração de fermentados a partir do figo-da-índia**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 6, n. 2, p. 305-315, 2006.

MACEDO, I.C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Estudos avançados, v. 21, n. 59, p. 157-165, 2007.

MASSONI, I. S.; COSTA, G. H. G.; ROVIERO, J. P.; FREITA, L. A.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar**. Ciência Rural, v. 45, n. 9, p. 1695-1700, 2015.

MATOSO, L. C.; **Método crioscópico para quantificação de etanol em bebidas**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Agroenergia: 2006-2011**. rev. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Demanda de Energia 2050**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2007.

MOLINER, A.; AGUILAR, K.; BOSIO, B.; RIBES, A. **Thermo-oxidative characterisation of the residues from persimmon harvest for its use in energy recovery processes**. Fuel Processing Technology, v. 152, p. 421-429, 2016.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Wood energy: principles and applications**. Interciencia Publishing House, Rio de Janeiro, 2003.

NUNES, G.D.G.; TOMÉ, P.H.F.; FRAGIORGE, E. J. **Elaboração e análise sensorial do vinho de caqui (Diospyrus kaki L.) cv. Fuyu**. VII Jornada Científica da Fazu p. 44, 2009.

PEREIRA, F. M.; KAVATI, R.; **DA PESQUISA CIENTÍFICA BRASILEIRA NO DESENVOLVIMENTO DE ALGUMAS FRUTÍFERAS DE CLIMA SUBTROPICAL1** Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, Volume Especial, E. 092-108, Outubro 2011

PIO, R; FILHO, J.A.S.; FILHO, F.A.A.M. **A cultura do caqui**. Série produtor rural nº 23 ISSN 1414-4530. São Paulo, 2003.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo, Brasil: Instituto Adolfo Lutz, 1985.

SANTIN, A. P. *et al.* **Estudo da secagem e da inativação de leveduras: Saccharomyces cerevisiae**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC, 1996.

SANTOS, A. C. B.; ASSIS, J. S.; SILVA, S. A. B.; LOPES, P.R.C.; **Destanização de caquis “giombo” e “rama forte” por exposição a Vapores de álcool etílico**. EMBRAPA: 2011, disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/877461/1/Joston1.pdf>>, acessado em maio de 2017

SANTOS, F. *et al.* Subprodutos da Agroindústria Sucroenergética. In: SANTOS, F. *et al.* **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. UFV. Viçosa. Brasil, 2013. p.108-111, p.122.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; DE QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. UFV. Viçosa. Brasil, 2013 p.14

SANTOS, K.N. **Obtenção de biodiesel via catálises homogênea e heterogênea a partir do óleo do maracujá amarelo (Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Degener)**. Monografia, Brasília: UnB, 2015.

SCHULZ, M. A. **Produção de bioetanol a partir de rejeitos da bananicultura: polpa e cascas de banana**. Dissertação de Mestrado. Joinville: FURJ, 2010.

SILVA, J. da; SILVA, ES da; SILVA, P. S. L. **Determinação da qualidade e do teor de sólidos solúveis nas diferentes partes do fruto da pinheira (Annona squamosa L.)**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 24, n. 2, p. 562-564, 2002.

STRYER, L. **Biochemistry**, 4th ed. W. H. Freeman and Company, New York, 497 p., 1995.

SZMRECSÁNYI, T.; RAMOS F. L.O. **The Agrarian Consequences of Brazil's Recent Sugar Industry Expansion**. Puerto Rico, LASA's XXVI International Congress, 2006.

SZWARC, A. O Impacto do Uso do Etanol na Qualidade do Ar das Grandes Cidades. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. Blucher: São Paulo, 2010. p. 187.

TEXEIRA, A.J. **A cultura do caquizeiro na região serrana fluminense**. Série agronegócios, 75p. ISBN 85-86973-78-5. Rio de Janeiro: Sebrae/RJ, 2004.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável; Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceanica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - U.S.D.A.. **Sucrose conversion table**, 1981.

VALDES, C. **Brazil's ethanol industry: looking forward**. United States Department of Agriculture, 2011.

ANEXOS

ANEXO A: Parâmetros das reações de fermentação

- 1ª Batelada

Tempo de reação (h)	°Brix	pH	Temperatura (°C)	°Brix corrigido	Densidade	Grau alcoólico formado	Grau alcoólico geral (%v/v)
0	15	3,9	22	14,72	1,061	0,000	0,000
7	14,9	4	28,5	14,72	1,061	0,000	0,000
8	14,3	3,9	29	13,79	1,056	0,662	0,662
9	14,1	4,1	29	13,32	1,054	0,262	0,923
13	14	4,1	29	13,32	1,054	0,000	0,923
17	11,9	4	27	9,98	1,040	1,835	2,758
18	11	4	27	8,53	1,034	0,783	3,541
21	10	3,9	28	6,81	1,027	0,919	4,459
22	9	3,8	28	5,08	1,020	0,913	5,372
24	7,5	4	29	2,56	1,010	1,310	6,683
25	7	4	29	2,05	1,008	0,262	6,945
27	6,5	4	29	1,03	1,004	0,522	7,467
29	6,5	4	29	1,03	1,004	0,000	7,467
30	6,5	4	29	1,03	1,004	0,000	7,467

- 2ª Batelada

Tempo de reação (h)	°Brix	pH	Temperatura (°C)	°Brix corrigido	Densidade	Grau alcoólico formado	Grau alcoólico geral(%v/v)
0	12,8	5,1	21	12,61	1,051	0,000	0,000
15	12,0	4,5	24	11,42	1,046	0,655	0,655
16	11,8	5,4	24	11,18	1,045	0,131	0,787
17	11,8	5,4	24	11,18	1,045	0,000	0,787
18	11,0	6,1	25	9,74	1,039	0,784	1,571
19	10,7	4,6	25	9,26	1,037	0,260	1,831
20	9,8	6	26	8,04	1,032	0,656	2,487
21	9,2	4,6	27	7,06	1,028	0,523	3,010
22	9,2	4,6	27	7,06	1,028	0,000	3,010
23	8,2	4,6	27	5,08	1,020	1,046	4,056
24	7,2	4,2	27	3,57	1,014	0,788	4,843
25	7,2	4,2	27	3,57	1,014	0,000	4,843
26	7,2	4,2	25	3,57	1,014	0,000	4,843
27	6,8	4,2	25	3,07	1,012	0,259	5,103
28	6,8	5	24	3,07	1,012	0,000	5,103

- 3ª Batelada

Tempo de reação (h)	°Brix	pH	Temperatura	°Brix corrigido	Densidade	Grau alcoólico formado	Grau alcoólico geral(%v/v)
0	18,2	3,9	22	17,95	1,075	0,000	0,00
2	17,2	3,9	22	16,34	1,067	1,060	1,06
3	17,2	3,9	25	16,34	1,067	0,000	1,06
4	17,2	4	26	16,34	1,067	0,000	1,06
5	16	4	27	14,49	1,059	1,044	2,10
6	14	4	27	11,18	1,045	1,833	3,94
7	12,6	3,9	27,5	9,01	1,036	1,179	5,12
8	11,4	4	28,5	7,06	1,028	1,044	6,16
9	10	3,9	29	4,58	1,018	1,308	7,47
10	9	4,1	29	3,07	1,012	0,785	8,25
11	8,4	4,1	29	2,05	1,008	0,526	8,78
12	7,8	3,9	29	1,03	1,004	0,522	9,30
13	7,2	4	27	0,00	1,000	0,524	9,82
14	7,2	4	27	0,00	1,000	0,000	9,82
15	7,2	4	27	0,00	1,000	0,000	9,82
16	7,2	4	27	0	1,000	0,000	9,82

- 4ª Batelada

Tempo de reação (h)	°Brix	pH	Temperatura (°C)	°Brix corrigido	Densidade	Grau alcoólico formado	Grau alcoólico geral(%v/v)
0	18,2	4,2	23	17,95	1,075	0,000	0,00
1	18,2	4,4	27	17,95	1,074	0,141	0,14
2	17,6	4,4	27	17,03	1,070	0,527	0,67
3	17,2	4,4	29	16,34	1,067	0,393	1,06
4	17	4,4	30	16,11	1,066	0,131	1,19
5	15,4	4,4	32	13,55	1,055	1,438	2,63
6	13,4	4,1	32	10,22	1,041	1,832	4,46
7	11,6	4,1	32	7,30	1,029	1,571	6,03
8	10,4	4,1	32	5,57	1,022	0,916	6,95
9	9,6	4,1	29	4,08	1,016	0,780	7,73
11	8,4	4,1	27	2,05	1,008	1,050	8,78
12	7,8	4,1	27	1,03	1,004	0,522	9,30
13	7,2	4,1	27	0,00	1,000	0,524	9,82
14	7,2	4,1	27	0,00	1,000	0,000	9,82
15	7,2	4,1	27	0,00	1,000	0,000	9,82