

CRISTIANE KOPF



**POTENCIAL DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE
PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL**

**MESTRADO EM
BIOENERGIA**

GUARAPUAVA-PR

2018

CRISTIANE KOPF

**POTENCIAL DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE PARA PRODUÇÃO DE
ÁLCOOL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende

GUARAPUAVA-PR

2018

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Cedeteg

Kopf, Cristiane

K833p

Potencial de cultivares de batata-doce para produção de álcool
Cristiane Kopf. -- Guarapuava, 2018

xii, 52 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em
Biocombustíveis, 2018

Orientador: Juliano Tadeu Vilela de Resende

Banca examinadora: Katielle Rosalva Voncik Córdova, Cristhiano
Kopanski Camargo, Juliano Tadeu Vilela de Resende

Bibliografia

1. Bioenergia. 2. Biocombustíveis. 3. *Ipomoea batatas* L. 4. Hidrólise
ácida. 5. Fermentação alcoólica. 6. Estimativa de produção.. I. Título. II.
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia.

CDD 660

CRISTIANE KOPF

**POTENCIAL DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE PARA PRODUÇÃO DE
ÁLCOOL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 27 de julho de 2018

Prof.(a). Dr.(a). Katielle Rosalva Voncik Córdova – UNICENTRO

Prof. Dr. Cristhiano Kopanski Camargo – Faculdade Guarapuava

Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende

GUARAPUAVA-PR

2018

Dedicatória

Dedico esta dissertação
aos meus pais Josef e Maria,
pelo apoio incondicional
e constante incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me abençoar e iluminar durante minha caminhada.

Aos meus pais, pelo apoio e pela formação do meu caráter.

Ao professor Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende, pela orientação e dedicação à minha pesquisa, por sua paciência e amizade.

A professora Dra. Katielle Rosalva Voncik Córdova, pelo auxílio durante o desenvolvimento das análises e pela amizade.

A acadêmica Juliana Dordetto do curso de Engenharia de Alimentos da UNICENTRO, pelo auxílio, ajuda e companheirismo durante a realização deste processo.

Ao acadêmico Renato Barros de Lima Filho do curso de Agronomia também da UNICENTRO, pelo auxílio durante as etapas de plantio e colheita.

Aos acadêmicos do Núcleo de Pesquisa em Hortaliças do Departamento de Agronomia da UNICENTRO, pela ajuda na fase de colheita.

Aos amigos, especialmente Ana Paula Quites Larrosa e Rosana Moreira da Conceição, pelo apoio e incentivo para finalizar esta jornada.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	10
3 METODOLOGIA	11
3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL	11
3.2 PREPARO DO SOLO E PLANTIO	13
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	15
3.4 ELABORAÇÃO DA FARINHA DE BATATA-DOCE E SUA CARACTERIZAÇÃO	17
3.4.1 Teor de açúcares redutores e açúcares redutores totais	19
3.4.2 Teor de amido	21
3.5 PRODUÇÃO DE ÁLCOOL	22
3.5.1 Hidrólise ácida	22
3.5.2 Fermentação	22
3.5.3 Destilação	23
3.5.4 Teor alcoólico	24
3.5.5 Análise de infravermelho (FTIR)	27
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BATATA-DOCE	28
4.2 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE BATATA-DOCE	31
4.3 FERMENTAÇÃO	35
4.4 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL (PE)	36
4.5 TEOR ALCOÓLICO	39
4.6 ANÁLISE DE INFRAVERMELHO (FTIR)	40
5 CONCLUSÃO	43
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44
REFERÊNCIAS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética brasileira de 2016	2
Figura 2 – Estequiometria simplificada da reação de fermentação alcoólica da glicose em etanol	8
Figura 3 – Preparo das bandejas	11
Figura 4 – Ramas depositadas nas bandejas	12
Figura 5 – Mudas de batata-doce	12
Figura 6 – Leiras e parcelas preparadas para o plantio das mudas de batata-doce	13
Figura 7 – Plantio das mudas de batata-doce	14
Figura 8 – Parcela com as plantas	14
Figura 9 – Cultivares de batata-doce com três meses	15
Figura 10 – Colheita da batata-doce	16
Figura 11 – Batata-doce da cultivar Laranjeiras 3	16
Figura 12 – Moinho de facas tipo Wiley	17
Figura 13 – Farinha de batata-doce embalada em saco de polietileno	18
Figura 14 – Agitador eletromagnético para peneiras	19
Figura 15 – Titulação do método de Lane-Eynon	20
Figura 16 – Microdestilador de álcool da marca Marconi	24
Figura 17 – Curva de calibração para determinação do teor alcoólico	26
Figura 18 – Rendimentos (%) de produção das farinhas de batata-doce	32
Figura 19 – Comportamento médio das amostras em função do tempo fermentescível e a % de etanol	36
Figura 20 – Percentual de teor alcoólico das cultivares	39
Figura 21 – Espectro de infravermelho de álcool de farinha de batata-doce	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtividade em t.ha ⁻¹ das cultivares de batata-doce analisadas	28
Tabela 2 – Composição centesimal média da batata-doce crua em porcentagem	29
Tabela 3 – Produtividade em t.ha ⁻¹ da farinha de batata-doce das cultivares analisadas	31
Tabela 4 – Composição centesimal média de farinha de batata-doce em porcentagem de matéria seca	33
Tabela 5 – Teores de açúcares redutores e açúcares redutores totais médios da farinha de batata-doce em porcentagem	34
Tabela 6 – Estimativa de produção de álcool a partir da concentração de amido (CA) e a produtividade para cada cultivar estudada	37

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Percentual de amido	21
Equação 2 – Equação da reta	25
Equação 3 – Cálculo de conversão do teor alcoólico em % de álcool (v/v)	26
Equação 4 - Cálculo de conversão do teor alcoólico em % de álcool (v/v)	26
Equação 5 – Fórmula de conversão à produção estimada de álcool	36

RESUMO

KOPF, Cristiane. **Potencial de cultivares de batata-doce para produção de álcool**. 2018. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro Oeste, UNICENTRO. Guarapuava-PR. 2018.

Devido aos problemas ambientais que o planeta vem enfrentando em relação às emissões de gás carbônico na atmosfera, é necessário viabilizar pesquisas que controlem os danos causados por tais emissões. Sabendo-se que o álcool combustível tem uma baixa emissão de dióxido de carbono, o presente trabalho tem por objetivo a produção de álcool de farinha de batata-doce de nove cultivares, e avaliar qual dessas possui maior rendimento em termos de produção. Esta matéria-prima é uma cultura promissora quando comparada a outras, no que diz respeito à produção de biocombustível. Foram realizadas análises físicas e químicas: umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, fibras para a batata-doce crua e também amido, açúcares redutores e açúcares redutores totais para a farinha de batata-doce. Além disso, foi avaliada a produção em termos de rendimento de álcool obtido, o teor alcoólico e realizada análise de espectro de infravermelho. O álcool foi produzido a partir da hidrólise ácida e a fermentação alcoólica foi realizada nos parâmetros: pH 5,0; temperatura de 25 °C e tempo de 5 dias. A caracterização da batata-doce crua e da farinha de batata-doce apresentaram percentuais satisfatórios, coerentes quando comparados a outros autores e também com a legislação. A partir do cálculo da estimativa de produção de álcool, obteve-se o valor mais elevado igual a $16034,06 \pm 1,12 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ para a cultivar Laranjeiras 3. Em relação ao percentual de teor alcoólico verificou-se valores entre 9,13 e 14,25%. Na análise de espectro de infravermelho foram determinados grupos funcionais de compostos alcoólicos de 3417 cm^{-1} , referente ao estiramento de O-H e 1388 cm^{-1} , que representa a deformação angular de O-H e do estiramento de C-O. Assim, a batata-doce é uma alternativa promissora para a produção de biocombustíveis, apresentando resultados satisfatórios.

Palavras-Chave: *Ipomoea batatas* L, biocombustível, hidrólise ácida, fermentação alcoólica, estimativa de produção.

ABSTRACT

KOPF, Cristiane. **Potential of sweet potato cultivars for alcohol production.** 2018. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro Oeste, UNICENTRO. Guarapuava-PR. 2018.

Due to the environmental problems that the planet is facing in relation to the emissions of carbon dioxide in the atmosphere, it is necessary to make feasible researches to control the damages caused by such emissions. The objective of this study was to produce alcohol from sweet potato flour of nine cultivars, and to evaluate which one has the highest yield in terms of production. This raw material is a promising crop when compared to others, as far as the production of biofuel is concerned. Physical and chemical analyzes were performed: moisture, ash, lipids, proteins, fibers for raw sweet potato and also starch, reducing sugars and total reducing sugars for sweet potato flour. In addition, we evaluated the yield in terms of alcohol yield obtained, the alcohol content and performed infrared spectrum analysis. The alcohol was produced from the acid hydrolysis and the alcoholic fermentation was performed in the parameters: pH 5.0; temperature of 25 °C and time of 5 days. The characterization of raw sweet potato and sweet potato flour presented satisfactory percentages, consistent when compared to other authors and also with the legislation. From the calculation of the alcohol production estimate, the highest value was obtained for 16034.06 ± 1.12 L.ha⁻¹ for Laranjeiras 3. In relation to the percentage of alcohol content, values between 9.13 and 14.25% were found. In the infrared spectrum analysis, functional groups of alcoholic compounds of 3417 cm⁻¹, related to the O-H stretching and 1388 cm⁻¹, representing the angular deformation of O-H and the stretching of C-O were determined. Thus, sweet potato is a promising alternative for the production of biofuels, presenting satisfactory results.

Key Words: *Ipomoea batatas* L, biofuel, acid hydrolysis, alcoholic fermentation, production estimation.

1 INTRODUÇÃO

Pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de expandir o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, como por exemplo, os biocombustíveis. Isto se deve aos problemas ambientais como o aquecimento global, o efeito estufa e outras transformações que vêm ocorrendo no planeta, em função de ações abusivas dos seres humanos (SANTOS, 2015).

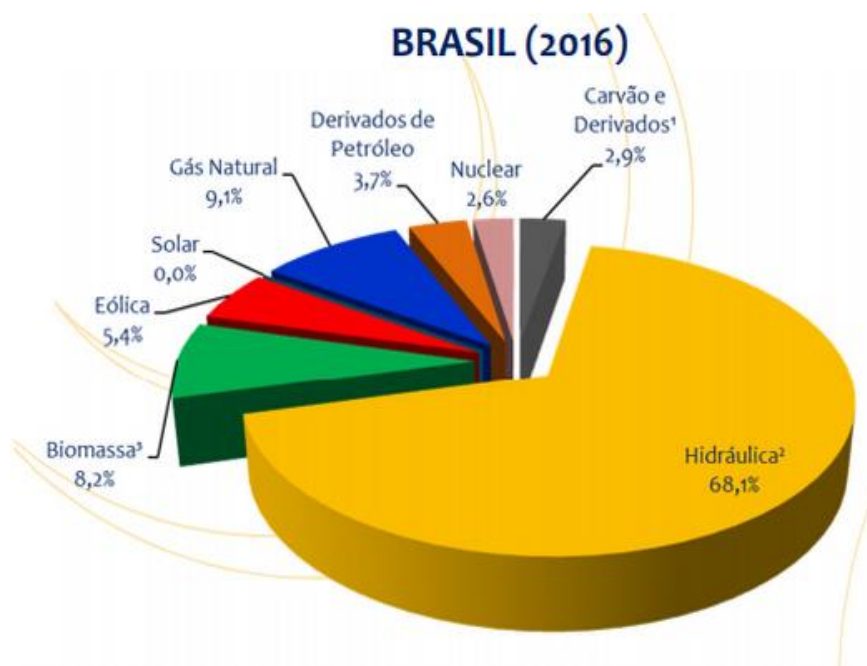
Os biocombustíveis são definidos como derivados de biomassa renovável que podem substituir, tanto parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia. Os dois principais usados no Brasil são o etanol, obtido a partir de cana-de-açúcar, e o biodiesel que é produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais e adicionado ao diesel de petróleo em proporções variáveis (BIOMASSA, 2017).

Define-se como biomassa todo material vivo ou morto derivado de plantas, animais e possíveis resíduos provenientes destes. Seu uso é bastante amplo, tais como substrato para processos biotecnológicos, obtenção de produtos químicos (ácido levulínico, xilose, xilitol, hidroximetilfurfural, etc.) para a indústria de química fina, até mesmo como fonte de energia. Entretanto, a biomassa das plantas, em especial o amido e os materiais lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina), tem atraído maior interesse para a obtenção de biocombustíveis (DHEPE e FUKUOKA, 2008).

No Brasil 45% da energia e 18% dos combustíveis são renováveis. Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o país alcançou uma posição almejada por muitos países que buscam alternativas estratégicas ao petróleo, desenvolvendo fontes de energia renováveis (BIOMASSA, 2017). Na Figura 1, é possível acompanhar a divisão da matriz energética de 2016, sendo a energia pela produção de biomassa igual a 8,2%. Já em contrapartida, a energia hidráulica ocupa 68,1% (EPE, 2016).

O Brasil é o primeiro país a instituir um programa governamental para a produção de etanol, conhecido como PROÁLCOOL (LOPES, 2013).

Figura 1 – Matriz energética brasileira de 2016



Fonte: EPE, 2016.

Com o aumento dos preços de petróleo na década de 70 e com a superprodução do açúcar, houve a necessidade de adotar medidas para resolver tanto a crise do petróleo quanto a do açúcar. Por isso, o governo federal instituiu o Programa Nacional do Álcool, mediante ao Decreto 76.593 de 14/11/1975, firmado pelo então presidente Ernesto Geisel (GRACIDA RODRÍGUEZ e PÉREZ-DÍAZ, 2014).

De acordo com as especificações das normas da Agência Nacional de Petróleo (ANP), atualmente o etanol pode ser empregado como biocombustível quando em seu estado puro hidratado, ou ainda quando adicionado em até 25% na gasolina (Portaria MAPA n° 105 DOU 1/3/2013) (MAPA, 2016).

A produção de carros *flex*, os quais podem utilizar tanto gasolina como o álcool, aumentou o consumo de álcool, mostrando a necessidade em buscar alternativas na produção de álcool que não ficasse restrito apenas a cana de açúcar (LOPES, 2013).

As condições climáticas favoráveis, da mesma forma a disponibilidade territorial, proporcionam o cultivo de matérias-primas necessárias à produção de biocombustíveis, o que tem incentivado investimentos em políticas públicas no âmbito social para aproveitar a

potencialidade regional, gerando renda e empregos e um desenvolvimento sustentável (LEITE e LEAL, 2007).

O etanol pode ser produzido de várias matérias-primas agrícolas desde que contenham carboidratos fermentescíveis (como exemplos, tem-se a glicose, frutose, sacarose e maltose), cuja composição é essencialmente açúcares e amido (PIMENTEL e PATZEK, 2005; FELTRAN e VALLE, 2010).

De acordo com Balat, Balat e Öz (2008), as matérias-primas, para a produção de bioetanol, podem ser classificadas em três tipos: sacarificadas (ex.: cana-de-açúcar), amiláceas (ex.: batatas) e celulósicas (ex.: madeira).

Dentre as matérias-primas amiláceas, os tubérculos e raízes apresentam uma grande vantagem por possuir alto teor de carboidratos, isto é interessante porque acaba compensando as diversas etapas do processamento de obtenção de álcool (SILVEIRA, 2008).

Dessa forma, estudos em relação a produção de bioetanol a partir de fontes alternativas, como a batata-doce, vem aumentando (NEUMANN et al., 2014).

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é praticamente cultivada no mundo inteiro, tendo várias formas de aplicação, tanto na alimentação humana como animal e como matéria prima para a indústria. Seu cultivo é disseminado em todas as regiões brasileiras, apresentando certa relevância econômica, sendo uma hortaliça de enorme aceitação popular e cultivada na maioria das vezes por pequenos produtores rurais em sistemas agrícolas com reduzida utilização de insumos (NEIVA et al., 2011). Esta classe é favorecida devido ao fato da cultura não necessitar de grandes áreas para o cultivo. Destacando ainda, seus menores custos na implantação da lavoura e apresentando alto rendimento (SILVA, 2010).

Mais de 97% da produção mundial de batata doce é proveniente de países vinculados ao continente Africano, Asiático e da América Latina, onde a mesma assume um papel de vital importância no abastecimento alimentício interno e como complemento nutricional na dieta de seus habitantes (LAURIE et al., 2013; WILLIAMS et al., 2013). Dados estatísticos relatam que a China é o maior produtor de batata-doce do mundo, seguidos por países do continente Africano. Já o continente Asiático como um todo apresenta a produção mais expressiva, havendo uma parcela em torno de 76% da safra mundial em 2014 (FAO, 2016).

No continente Americano, os principais produtores de batata-doce são: Estados Unidos, Brasil, Argentina, Peru, Cuba, Jamaica, Porto Rico e Venezuela (FAO, 2016).

De acordo com os dados contidos na base do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sobre o cultivo da batata-doce, conclui-se que o Brasil, nos últimos 10 anos, em média, dedicou-se aproximadamente 43.161 hectares ao cultivo, e o Nordeste representa 44,2% dessa área, sendo a região brasileira com maior área plantada e colhida de batata-doce, nesse período. De 2004 a 2014, o valor monetário médio anual do Brasil com a batata-doce foi aproximadamente R\$ 312.894.364,53, e a região sul representa 50% desse montante, seguido pela região nordeste com 29,45% (IBGE, 2014).

O custo de produção da batata-doce para um hectare, utilizando irrigação, foi de R\$ 7.716,13, atingindo uma produção de 16 t.ha⁻¹. Assim, para cada tonelada produzida de batata-doce o custo de produção foi de R\$ 482,26 (EMATER, 2012).

As cultivares variam principalmente em relação à cor da casca, cor da polpa e formato. Deve-se conhecer a adaptabilidade da cultura às condições climáticas da região, suas características de resistência a pragas e doenças, desenvolvimento da planta, características das folhas, comprimento das ramas, posição das batatas, cor das cascas, ausência de defeitos, etc. (MONTES e PANTANO, 2013).

Suas ramas e raízes são utilizadas em grande escala na alimentação humana, animal e também como matéria-prima nas indústrias de alimento, papel, tecido, preparação de adesivos, cosméticos e álcool carburante (OLIVEIRA et al., 2015).

O início da colheita, ocorre geralmente, de 120 a 210 dias após o plantio, na estação do inverno, dependendo das condições climáticas da região. Os sinais para o ponto da colheita são o amarelecimento da parte aérea da planta e queda de grande parte das folhas (SOUZA e RESENDE, 2006).

Esta amilácea apresenta uma elevada produção de biomassa com conversão para álcool combustível, sendo uma das espécies mais promissoras no processo de conversão da energia solar em energia química. Nos vegetais, essa energia é armazenada na forma de amido e este é utilizado como fonte de glicose. A batata-doce é um dos vegetais que mais se destacam no armazenamento deste biopolímero (NEIVA et al., 2011).

Comparando-se a outras amiláceas, a batata-doce possui maior conteúdo de massa seca, carboidratos (cerca de 85,0%, sendo 22,4% de amido), lipídios, cálcio e fibras que a batata comum, mais carboidratos e lipídios que o inhame e mais proteína que a mandioca. Durante seu armazenamento, devido à presença de enzimas amilolíticas, parte do amido é convertido em açúcares fermentescíveis num teor que varia de 27 a 28%, usados na produção de etanol (JUSUF e GINTINGA, 2014). Isto é importante para a utilização da batata-doce como matéria-prima na produção de etanol, pois facilita o processo de hidrólise do amido. Como fonte de minerais, apresenta, em 100 g, os seguintes teores: cálcio (30 mg), fósforo (49 mg), potássio (273 mg), magnésio (24 mg), enxofre (26 mg) e sódio (13 mg). Apresenta pigmentos como o betacaroteno, carotenos e xantofilas, os quais estão presentes em quantidades menores (STROPARO, 2012).

Em termos de produção de etanol, a utilização da batata-doce é considerada mais vantajosa do que a mandioca. Isso se deve a custos menores de produção, já que pode ser colhida mecanicamente num menor período de colheita (4-5 meses) quando comparada à mandioca (10 meses). Em termos de teores de amido as duas não diferem entre si (JUSUF e GINTINGA, 2014).

O etanol produzido a partir da batata-doce, além de ser um combustível renovável e menos poluente, tem a vantagem da utilização de rejeitos agrícolas, isto quer dizer que as batatas que são rejeitadas ou impróprias ao consumo humano podem ser utilizadas na produção de álcool. Seu potencial de produção de energia a partir da batata-doce é elevado por esta ser uma das plantas que apresenta maior capacidade de produção por unidade de área e tempo (Kcal/ha/dia) (SILVA, 2010).

De acordo com Silveira (2008), o processo de obtenção de álcool a partir do amido da batata-doce pode produzir de 160 a 200 litros de álcool por tonelada de tubérculo, isso, se deve a seu teor de açúcares e, além disso, é possível aproveitar a torta proteica (coproduto), resultante do processo, como componente de ração animal, industrializado como complemento alimentar humano ou na compostagem para fertilizar a própria área de plantio. Para cada tonelada de batata-doce processada, são obtidos 150 Kg de ração (TAVARES, 2006), e produzidos praticamente o dobro de álcool quando comparada com uma tonelada de cana-de-açúcar (JUSUF e GINTINGA, 2014).

A batata-doce oferece inúmeras vantagens como matéria-prima na produção de etanol. Além da questão ambiental, o etanol gera no Brasil, impactos econômico-sociais, como a melhora na renda rural; a capacidade de distribuição desses efeitos na cadeia produtiva sucroalcooleira; geração de empregos em larga escala e redução de dependência externa de petróleo e também a melhoria da balança comercial (NEGRÃO e URBAN, 2005).

O etanol não é somente utilizado como biocombustível, mas quando obtido a partir de batata-doce apresenta boa qualidade na produção de cosméticos. Futuramente, destaca-se seu emprego como elemento gerador de energia elétrica em células a combustíveis, equipamentos com eficiência energética superiores aos motores de combustão interna, além da elaboração de seus derivados e subprodutos como: amida, butila, etila, vinila, borrachas sintéticas, policloreto de vinila e compostos plásticos em substituição a diversos elementos provenientes do petróleo (LOPES, 2013).

Como possui variabilidade genética, esta amilácea permite a seleção para inúmeros propósitos, como: obtenção de materiais resistentes a pragas e doenças, com melhor qualidade nutricional (maior teor de vitamina A); maior densidade de raízes; maior teor de massa seca e produção de biomassa, o que proporciona maior rendimento na produção de álcool (GONÇALVES NETO et al., 2011).

Como já mencionado, o amido é uma fonte importante na produção de bioetanol e para que o processo ocorra existe a necessidade da conversão em glicose. Após o processo de conversão do amido em glicose, ocorrerá a fermentação e a posterior produção de etanol (NEUMANN et al., 2014).

Em várias espécies vegetais o amido é encontrado em grande quantidade, sendo um carboidrato de reserva. Presente em grãos de cereais (40% a 90% de massa seca), leguminosas (30% a 50% do peso seco), tubérculos e raízes (65% a 85% de massa seca) e frutas maduras ou verdes (40% a 70% da massa seca). É armazenado na forma de grânulos insolúveis em água, apresentando um grau de organização molecular e um caráter parcialmente cristalino, ou semicristalino, com graus de cristalinidade variando entre 20 e 45% (LAJOLO e MENEZES, 2006).

Em relação a sua fonte de obtenção, o amido possui diferentes proporções de amilose e de amilopectina. Estas podem variar em torno de 1:3 e 1:4, entretanto, existem mutantes,

nos quais o amido não possui amilose. As aplicações industriais podem ser afetadas devido às proporções destes componentes, sendo que suas estruturas e propriedades podem resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas e funcionais diferentes (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010).

O amido é responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados, contribuindo na textura de alimentos, possuindo aplicações industriais como espessante, estabilizador de colóides, agente geleificante e de volume, adesivo, na retenção de água, dentre outros (SINGH et al., 2003).

A produção de glicose a partir do amido da batata-doce tem por finalidade a produção de etanol. Desde a década de 70, pesquisadores já buscavam desenvolver combustível dessa forma, mas sempre esbarravam na baixa produtividade, sendo esta responsável pela inviabilização dos projetos. Atualmente, pesquisas são desenvolvidas visando o melhoramento das variedades de batata-doce e técnicas para aumentar a produtividade por hectare para lavouras comerciais (STROPARO, 2012).

A produção de álcool a partir de batata-doce depende de dois processos, sendo um deles a hidrólise, na qual o amido é transformado em açúcares fermentescíveis, e o outro a fermentação dos açúcares, tendo como produto reacional o álcool (LOPES, 2013).

A hidrólise do amido pode ser realizada por meio de catalisador ácido, a combinação de ácido e enzimas ou até pela combinação de enzimas. São utilizados ácidos fortes, como o ácido clorídrico e ácido perclórico ou na digestão enzimática por meio das enzimas, a amiloglucosidase obtida do fungo *Aspergillus niger* e α -amilase, a qual é proveniente do fungo *Aspergillus oryzae* (JUSUF e GINTINGA, 2014).

A hidrólise é a decomposição pela água; mas a água, por si só, não consegue realizar uma hidrólise completa. Para isso, é necessário operar em temperaturas e pressões elevadas. Para acelerar a reação é sempre indispensável um agente acelerador, qualquer que seja o mecanismo da reação. Os mais importantes são álcalis, ácidos e enzimas. A hidrólise do amido faz com que a cadeia fique menor, devido à quebra das ligações (BARCZA, 2018).

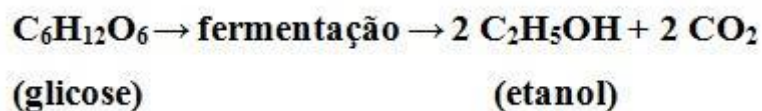
O processo ácido é mais rápido e tem um custo menor, porém, é necessário controlar o pH da solução açucarada e como desvantagem ocorre a destruição do polissacarídeo, geração de açúcares não fermentescíveis e corrosão do equipamento (STROPARO, 2012).

Na fermentação etanólica, ocorre a degradação das moléculas de açúcar, no interior das células de microrganismos, formando etanol e gás carbônico, e compostos como ácidos succínicos, ácidos voláteis e ésteres, liberando energias química e térmica (VENTURINI FILHO, 2005).

Em se tratando da batata-doce que é uma matéria-prima amilácea, a glicose é obtida mediante hidrólise do amido, e entra na via glicolítica. Posteriormente, a glicose é convertida em piruvato, mediante sequência de reações denominada glicólise. Na primeira etapa ocorre a descarboxilação, formando acetaldeído e gás carbônico, sendo catalisada pela enzima piruvato descarboxilase; já na segunda etapa, ocorre a redução do acetaldeído a etanol pela ação da enzima álcool desidrogenase I (ADH1) (LEHNINGER, NELSON e COX, 2006).

A estequiometria da fermentação alcoólica pode ser representada simplificada como segue (Figura 2).

Figura 2 - Estequiometria simplificada da reação de fermentação alcoólica da glicose em etanol



Fonte: PAVLAK, 2010.

No Brasil, uma quantidade significativa do etanol que é produzido, utiliza a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, entretanto, ela metaboliza apenas açúcares simples, tais como glicose e frutose, justifica-se, portanto, as etapas de hidrólise e sacarificação, caso a matéria-prima seja rica em amido (PAVLAK et al, 2011).

Utiliza-se nas indústrias que produzem etanol leveduras de panificação prensadas e secas ou selecionadas. Estas devem tolerar altos teores de etanol e ter boa velocidade de fermentação (LOPES, 2013).

Quando se aumenta a concentração de açúcares no meio fermentativo, aumenta-se também a velocidade de fermentação, a produtividade e até certo ponto um menor

crescimento da levedura. Porém, um elevado teor de açúcares ocasiona um estresse osmótico da levedura aumentando a taxa de células mortas (PAVLAK et al, 2011).

No processo fermentativo do etanol as condições do meio sofrem influências de etapas anteriores, como por exemplo, colheita da matéria prima, formação do mosto, precauções devem ser tomadas para preservar o caldo nas melhores condições possíveis, para que favoreçam o desenvolvimento das leveduras, resultando em conversões elevadas de substrato em álcool (VANZELLA et al., 2014). Podem ser citados os processos físicos (pressão osmótica e temperatura), os químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos, inibidores) e os microbiológicos (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana) (CAETANO e MADALENO, 2011). Estes fatores afetam o rendimento da fermentação alcoólica e a eficiência da conversão de açúcar em etanol (PACHECO, 2010).

A faixa de pH ideal encontra-se entre 4 e 5, pois fermentações que ocorrem em meios ácidos resultam em maiores rendimentos de etanol devido à baixa produção de glicerol e a não contaminação por outras bactérias, que não resistem ao pH ácido. A contaminação bacteriana influencia de forma negativa a fermentação, pois as bactérias competem pelo mesmo substrato, gerando subprodutos que são inibidores do crescimento da levedura (DARÉ, 2008). A faixa de temperatura recomendada está entre 15 e 36 °C, temperaturas inferiores retardam a fermentação e superiores ocasionam a evaporação do álcool e comprometem o desempenho da levedura (PACHECO, 2010).

Devido a todas essas vantagens apresentadas, existe a necessidade de se pesquisar a cultura da batata-doce em relação ao seu potencial na produção de álcool.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral:

Avaliar o potencial de cultivares de batata-doce para a produção de álcool.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar a matéria-prima e a farinha de batata-doce;
2. Elaborar farinhas de batata-doce para utilização como substrato amiláceo na fermentação alcoólica;
3. Obter álcool por meio de hidrólise ácida de farinha de batata-doce, identificando as variedades com potencial na sua obtenção.

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL

Seis cultivares de batata-doce (Guaraniaçu, Laranjeiras 1, Laranjeiras 3, Laranjeiras 4, Bela Vista, Nova Laranjeiras) foram gentilmente fornecidas pelo Professor Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende do Núcleo de Pesquisas em Hortaliças do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste. Além destas, foram utilizadas três cultivares provenientes da Embrapa, sendo BRS Cuia, BRS Rubissol e BRS Ibema.

A forma de propagação das cultivares deu-se por meio do plantio dessas mudas, no mês de agosto de 2016. Inicialmente as ramas foram depositadas nas células das bandejas (Figura 4) e enterradas manualmente até a metade do seu comprimento, comprimindo-se o solo ao seu redor para evitar possíveis bolhas de ar. A Figura 3, apresenta o preparo das bandejas e a Figura 5, as mudas de batata-doce nas bandejas.

Figura 3 – Preparo das bandejas



Fonte: O Autor, 2016.

Figura 4 – Ramas depositadas nas bandejas



Fonte: O Autor, 2016.

Figura 5 – Mudas de batata-doce



Fonte: O Autor, 2016.

3.2 PREPARO DO SOLO E PLANTIO

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, com três repetições, sendo realizado em novembro de 2016. O solo na área experimental foi preparado por meio de aração e gradagem e as leiras de plantio, apresentadas na Figura 6, foram levantadas lado a lado, espaçadas em 0,8 m, com auxílio de um sulcador/enleirador tipo bico de pato.

As parcelas apresentaram área útil de 3,0 m², com plantas espaçadas aproximadamente em 0,3 m, sendo dez plantas por parcela (Figura 8). A Figura 7, apresenta o plantio das mudas em campo.

No decorrer do experimento, os tratos culturais foram restritos às capinas e irrigações, e, feitos sempre que necessário.

Figura 6 – Leiras e parcelas preparadas para o plantio das mudas de batata-doce



Fonte: O Autor, 2016.

Figura 7 - Plantio das mudas de batata-doce



Fonte: O Autor, 2016.

Figura 8 – Parcela com as plantas



Fonte: O Autor, 2016.

Na Figura 9, observa-se as cultivares de batata-doce com três meses.

Figura 9 – Cultivares de batata-doce com três meses



Fonte: O Autor, 2016.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As cultivares de batata-doce foram colhidas, identificadas, selecionadas, lavadas e pesadas. Na Figura 10, pode ser observada a colheita das cultivares de batata-doce e na Figura 11, a batata-doce da cultivar Laranjeiras 3. Posteriormente, foram fatiadas e espalhadas em bandejas e acondicionadas em estufa de secagem, da marca QUIMIS, modelo Q3171-22, cuja secagem foi realizada à 65 °C por 72 horas.

A batata-doce foi caracterizada quanto aos teores de umidade, lipídeos, cinzas, proteínas, fibras e carboidratos de acordo com a metodologia adotada pelo Instituto Adolfo Lutz (2005).

Figura 10 - Colheita da batata-doce



Fonte: O Autor, 2016.

Figura 11 - Batata-doce da cultivar Laranjeiras 3

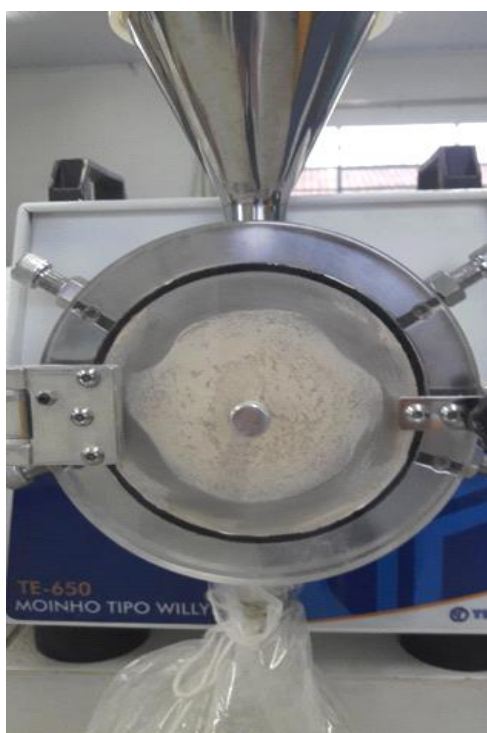


Fonte: O Autor, 2017.

3.4 ELABORAÇÃO DA FARINHA DE BATATA-DOCE E SUA CARACTERIZAÇÃO

Após a secagem das cultivares de batata-doce, as amostras foram trituradas utilizando-se moinho de facas elétrico, com peneira de 20 mesh da marca Tecnal, apresentado na Figura 12. Depois de triturada, a farinha foi armazenada em saco de polietileno, como pode ser visualizado na Figura 13, e armazenado a temperatura ambiente.

Figura 12 - Moinho de facas tipo Wiley



Fonte: O Autor, 2017.

Figura 13 – Farinha de batata-doce embalada em saco de polietileno



Fonte: O Autor, 2017.

Para a determinação da granulometria da farinha, procedimento realizado com o intuito de padronizar o diâmetro das partículas, foi pesada uma amostra de 500 g da farinha de batata-doce, sendo posteriormente colocada num jogo de peneiras, com peneiras de 0,6; 0,42; 0,3; 0,25; 0,2; 0,18; 0,15; 0,125; 0,088; 0,075; 0,045 mesh (previamente pesadas uma a uma). Em seguida, foram levadas ao agitador de peneiras durante 15 minutos na velocidade máxima. Após a agitação, foi avaliado o peso de cada peneira e por diferença a quantidade retida em cada uma das peneiras, foi definida a concentração em cada faixa de granulometria. Obtendo-se ao final do procedimento um diâmetro de 0,8 mm para as partículas, de acordo com o mesh da peneira utilizada. A Figura 14 apresenta o agitador eletromagnético para peneiras da marca Bertel.

Figura 14 - Agitador eletromagnético para peneiras



Fonte: O Autor, 2017.

Ressalta-se que a farinha de batata-doce foi empregada no desenvolvimento da pesquisa, sendo caracterizada quanto aos teores de umidade, lipídeos, cinzas, proteínas, fibras e carboidratos, conforme a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2005). Foram determinados também os teores de açúcares redutores, açúcares redutores totais e de amido.

3.4.1 Teor de açúcares redutores e açúcares redutores totais

Os açúcares redutores foram determinados de acordo com o método 038/IV do Instituto Adolfo Lutz (2005), conhecido como método de Lane-Eynon. A batata-doce apresenta em sua composição açúcares, motivo pelo qual este cultivar é atrativo no emprego visando à produção de álcool. Inicialmente, foram preparadas as soluções A e B de Fehling. Para preparar a solução A foram utilizados 173,040 g de $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ em 250 mL de água destilada gelada, adicionando-se 250 mL de NaOH 20% quente. Os reagentes de Fehling foram padronizados através do método de titulação com glicose a 1%. Foram transferidos 10 g de farinha de batata-doce para balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com

água destilada. Posteriormente, a solução foi filtrada em papel filtro e em seguida, utilizada na bureta para titulação. Em um erlenmeyer, adicionou-se 10 mL de cada uma das soluções A e B de Fehling, 40 mL de água destilada, aquecendo-se até ebulição. A titulação foi realizada em ebulição até que a solução aquecida passasse de azul para incolor com precipitados de cor vermelho-tijolo. Os valores foram expressos em porcentagem. Na Figura 15, é apresentada a titulação do método de Lane-Eynon.

Figura 15 - Titulação do método de Lane-Eynon



Fonte: O Autor, 2017.

Para o teor de açúcares redutores totais, foi utilizada a mesma metodologia que açúcares redutores, a de Fehling. Neste caso, transferiu-se 2 g da amostra para um béquer de 100 mL e adicionou-se 50 mL de água destilada. O béquer, a seguir, foi colocado em banho-maria até 65 °C. Quando atingiu esta temperatura, o béquer foi retirado do banho e adicionado 4 mL de HCl concentrado (realizado em capela). Retornou-se a amostra ao banho-maria, mantendo-se a temperatura entre 67 °C e 70 °C durante 5 minutos. Esta etapa teve o intuito de hidrolisar a amostra.

Após retirar a amostra do banho e esfriá-la, foi adicionado NaOH 30% até que mudasse o pH, até um pH neutro.

Posteriormente, transferiu-se a amostra para um balão volumétrico de 200 mL, completando-se com água destilada.

Procedeu-se a titulação e os cálculos, conforme realizado para açúcares redutores.

3.4.2 Teor de amido

Para quantificar as moléculas de glicose provenientes do amido foi utilizado o método de Lane-Eynon, segundo 038/IV do Instituto Adolfo Lutz (2005). Foi lavada um grama de farinha de batata-doce com soluções hidroalcoólicas numa proporção de 80:20 (água-álcool) e 90:10 (água-álcool). Foram filtradas e transferidas para erlenmeyer com 50 mL de ácido clorídrico (HCl) 1 mol L⁻¹. Em seguida, colocadas durante 2 minutos em banho-maria no micro-ondas com potência máxima. As amostras foram neutralizadas com hidróxido de sódio 10%, utilizando-se três gotas de fenolftaleína. Posteriormente, as amostras foram tituladas com os reagentes de Fehling e os valores expressos em porcentagem.

Para calcular o percentual de amido proveniente da farinha de batata-doce, foi utilizada a equação 1:

$$\% \text{ Amido} = \frac{250 \times 0,9 \times TL}{L \times M \times A} \quad (1)$$

Onde:

250 = volume total da diluição da amostra

TL = título do licor de Fehling

0,9 = fator que transforma os açúcares redutores em amido

100 = usado para expressar o amido em porcentagem (%) na amostra

LM = leitura média, leitura do volume gasto na titulação da amostra

MA = massa da amostra

3.5 PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

3.5.1 Hidrólise ácida

A hidrólise ácida da farinha de batata-doce foi realizada por meio da metodologia adaptada de Woiciechowski et al. (2002), utilizando a proporção de 1:10 (m/v) para a quantidade de farinha de batata-doce e ácido clorídrico, respectivamente.

Foram transferidos nove gramas de farinha de batata-doce para erlenmeyer de 250 mL, adicionando-se 90 mL de ácido clorídrico a 1%. A amostra foi então autoclavada a uma temperatura de 120 °C e pressão de 1 atm, durante o período de 10 minutos. Posteriormente, a amostra foi resfriada e centrifugada a 3.000 rpm por 8 minutos, em centrífuga Hettich Zentrifuger MIKRO 220R.

3.5.2 Fermentação

O mosto formado pelo material amiláceo durante o processo fermentativo, foi autoclavado durante 10 minutos, a temperatura de 120 °C e 1 atm, para esterilização. Após resfriamento do mosto realizou-se a adição de leveduras comerciais de *Saccharomyces cerevisiae*, da marca austríaca Nottingham®, em concentrações de 8 g.L⁻¹ para dar início ao processo fermentativo.

Ressalta-se que após a adição da levedura o sistema foi levado para agitação e homogeneização por 2 minutos a frequência de 10 rpm em uma mesa de agitação, da marca Labstore, modelo 109.

As condições de fermentação utilizadas foram: pH igual a cinco, o qual foi medido e controlado em potenciômetro da marca Requipal, conforme as normas do Instituto Adolfo Lutz (2005); temperatura de 25 °C e um período de cinco dias, mantendo as amostras em uma câmara de germinação, da marca Tecnal, modelo TE-402.

3.5.3 Destilação

O processo de destilação foi realizado conforme o método proposto por Lopes (2013). A técnica de destilação permite que os compostos mais voláteis presentes na amostra sejam facilmente liberados na forma gasosa, permitindo que o álcool seja destilado a temperatura próxima de seu ponto de ebulição, sendo esta de aproximadamente 75 °C. A destilação foi realizada em microdestilador de álcool da marca Marconi, modelo MAO - 12/1, conforme Figura 16.

O álcool destilado foi recolhido em um balão em banho de gelo, garantindo sua estabilidade no estado líquido. As amostras destiladas dos diferentes ensaios foram identificadas e armazenadas em frascos com tampa mantidos sob refrigeração a 10 °C.

Figura 16 - Microdestilador de álcool da marca Marconi



Fonte: O Autor, 2017.

3.5.4 Teor alcoólico

Define-se a graduação alcoólica de uma bebida através da porcentagem volumétrica de álcool puro contido na mesma. Isto quer dizer que um vinho com 10°GL contém 10% (v/v) de álcool (MARINHO, RODRIGUES e SIQUEIRA, 2009).

A determinação do teor alcoólico das amostras destiladas foi obtida por meio da norma NBR 13920 (ABNT, 1997), a qual se baseia em uma curva padrão de absorvância em função de concentrações previamente conhecidas de álcool. A partir da determinação do teor alcoólico foi calculado o rendimento do produto obtido.

Para esta análise foram utilizadas soluções de dicromato de potássio, 10% (m/v), ácido sulfúrico concentrado e etanol absoluto.

Para preparar a solução padrão de etanol, foram colocadas 0,190 mL de etanol absoluto em um balão de 50 mL, completando-se o volume com água destilada.

A partir desta solução padrão foram preparadas 4 novas soluções (A) e um branco (B), em um tubo de ensaio de 20 mL, sendo elas:

A1 – 1,0 mL da solução padrão e 4,0 mL de água destilada (referente a 3,0 mg etanol);

A2 – 2,0 mL da solução padrão e 3,0 mL de água destilada (referente a 6,0 mg etanol);

A3 – 3,0 mL da solução padrão e 2,0 mL de água destilada (referente a 9,0 mg etanol);

A4 – 4,0 mL da solução padrão e 1,0 mL de água destilada (referente 12,0 mg etanol);

B – 5,0 mL da água destilada.

A estas soluções foram adicionadas lentamente pela parede do tubo, 5,0 mL de ácido sulfúrico concentrado, e após um minuto, foi adicionado 1,0 mL da solução de dicromato de potássio. Posteriormente, o tubo foi levado para agitação em agitador, da marca MARCONI, modelo MA-162/1.

Após o resfriamento em temperatura ambiente, foi adicionado 1,0 mL de cada solução em uma cubeta de quartzo de 1 cm³, para análise em espectrômetro de UV-Vis da Spectrum UV-Vis, spectrophotometer SP 2000 UV, no comprimento de onda fixo em $\lambda = 600$ nm.

A leitura observada no espectrofotômetro de UV-Vis, em relação ao branco, no mesmo comprimento de onda foi realizada em relação a cada amostra destilada, onde foram empregados 0,20 mL de destilado diluídos para 5,0 mL. A adição de ácido sulfúrico e de dicromato de potássio 10% foi realizada conforme descrito anteriormente.

A partir da equação da reta (Equação 2) obtida na curva de calibração (Figura 17) e a leitura das absorbâncias apresentadas pelas amostras destiladas, calculou-se os teores alcoólicos apresentados por cada uma destas em miligrama (mg) de álcool.

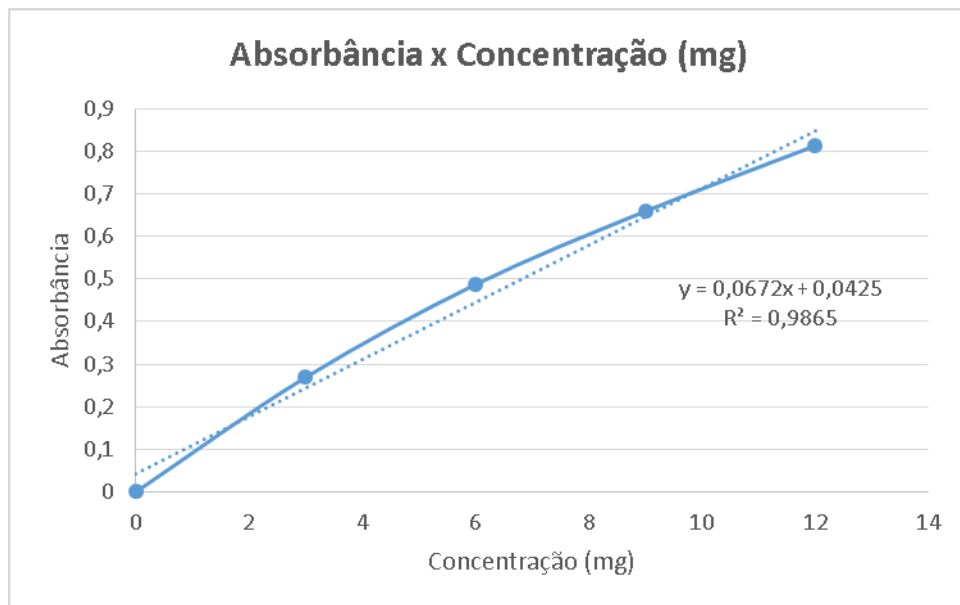
$$y = 0,0672 x + 0,0425 \quad (2)$$

Onde:

y = absorvância

x = concentração de etanol em mg

Figura 17 - Curva de calibração para determinação do teor alcoólico



Fonte: O Autor, 2018.

Considerando-se que x é igual a E', para encontrar os valores do teor alcoólico em % álcool (v/v), é necessário realizar os cálculos das equações 3 e 4, a seguir:

$$E = \frac{5000 \times E'}{0,78934 \times 1000} \quad (3)$$

ou

$$E = 6,323 \times E' \quad (4)$$

Onde:

E = teor de álcool estimado contido na amostra, mL.100 mL⁻¹

E' = miligrama de álcool na amostra, de acordo com o cálculo da curva padrão

5000 = fator de conversão da alíquota de 0,20 mL para 100 mL

1000 = fator de conversão de miligramas para grama

0,78934 = densidade do etanol a 20 °C, em g.mL⁻¹

3.5.5 Análise de infravermelho (FTIR)

Os destilados das amostras foram analisados em espectro de infravermelho (FTIR), da marca Agilent Technologies, modelo Cary 600, a fim de identificar a presença de álcoois. A análise baseia-se na espectroscopia da transformada de Fourier (FTIR) de acordo com a refletância atenuada total horizontal (HATR).

Inicialmente, foram confeccionadas pastilhas de brometo de potássio, pesando-se 200 mg deste composto químico, o qual foi colocado em molde e posteriormente prensado em prensa hidráulica, da marca Bovenau, usando-se sete toneladas de pressão. Para a leitura no espectro, as análises foram realizadas a temperatura ambiente de 20 °C utilizando uma varredura de frequência de 4000 – 400 cm⁻¹ na resolução de 4 cm⁻¹ com quarenta e cinco varreduras por alíquota e um branco com álcool metílico. A pastilha de brometo de potássio foi inserida no acessório do aparelho juntamente com 1 mL da amostra e realizada a leitura.

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos nesta pesquisa foram realizados em duplicata ou triplicata e analisados por Análise de Variância (ANOVA), através do software Statistica 7.0, sendo reportados na forma de média e desvio padrão. O teste de Tukey ($p < 0,05$) foi usado como teste de comparação de médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BATATA-DOCE

Após a colheita, lavagem e pesagem da batata-doce determinou-se a produtividade de cada cultivar, baseando-se na área útil de cada parcela igual a 3,0 m² e as três repetições em que o experimento foi instalado. Os valores em t.ha⁻¹ das cultivares produzidas podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Produtividade em t.ha⁻¹ das cultivares de batata-doce analisadas

Cultivar	Produtividade (t.ha ⁻¹)
1 Cuia	35,56
2 Bela Vista	15,43
3 Nova Laranjeiras	23,56
4 Ibema	26,76
5 Rubissol	22,40
6 Guaraniaçu	32,10
7 Laranjeiras 1	49,78
8 Laranjeiras 3	39,72
9 Laranjeiras 4	40,53

Em relação à produção podem ser observadas as alterações no crescimento das plantas, que são determinadas a partir de caracteres fisiológicos como massa seca das plantas e de suas partes (raízes, caules, folhas) e área foliar (MENEZES et al., 2001), os quais permitem obter índices fisiológicos. Estes índices podem ser avaliados durante o ciclo da cultura ou sofrer a interferência de fatores intrínsecos e extrínsecos à planta (LARCHER, 1995). Justifica-se pelas variações entre cultivares, a idade da planta na colheita, o ambiente e as práticas culturais (FIGUEIREDO, 1993).

Com base na Tabela 1, observa-se que a cultivar Laranjeiras 1 foi a mais produtiva com 49,78 t.ha⁻¹ e a menos produtiva a cultivar Bela Vista com 15,43 t.ha⁻¹. De acordo com Yamaguchi (1983), uma boa produtividade da batata-doce situa-se entre 9,00 e 14,00 t.ha⁻¹, comparando-se com os valores obtidos nesta pesquisa, observa-se que todas as cultivares foram mais produtivas. Resende (2000), obteve uma produtividade média para as cultivares pesquisadas igual a 19,20 t.ha⁻¹, com exceção da cultivar Bela Vista, todas as demais cultivares desta pesquisa foram mais produtivas. Silveira et al (2007), observou nas cultivares de sua pesquisa uma produtividade entre 32,17 e 65,50 t.ha⁻¹, com exceção das cultivares Bela Vista, Nova Laranjeiras, Ibema e Rubissol, as demais apresentaram-se coerentes em relação aos valores.

Os resultados das análises realizadas de composição centesimal da batata-doce crua são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição centesimal média da batata-doce crua em porcentagem

Cultivar	Umidade	Cinzas	Lipídeos	Proteínas	Fibras	Carboidratos
1 Cuia	72,23±0,88 ^b	3,42±1,42 ^a	1,41±0,13 ^a	2,52±0,53 ^{a,d}	2,35±0,37 ^b	18,15±1,58 ^b
2 Bela Vista	75,22±1,12 ^{a,b}	2,37±1,24 ^a	1,31±0,28 ^a	1,58±0,66 ^d	2,4±0,18 ^b	17,12±1,47 ^b
3Nova L.*	68,61±0,84 ^c	1,15±0,18 ^a	0,94±0,54 ^a	2,78±0,21 ^{a,c}	2,95±0,39 ^{a,b}	23,57±1,85 ^c
4 Ibema	76,96±1,46 ^a	3,43±1,13 ^a	1,28±0,29 ^a	2,77±0,10 ^{a,c}	2,78±0,20 ^{a,b}	12,78±1,56 ^a
5 Rubissol	68,62±0,76 ^c	2,04±0,88 ^a	1,31±0,19 ^a	3,02±0,13 ^a	2,7±0,26 ^{a,b}	22,31±0,96 ^c
6 Guaraniaçu	68,81±0,55 ^{b,c}	1,36±0,53 ^a	1,73±0,09 ^a	2,85±0,12 ^{a,e}	3,7±0,73 ^a	21,55±0,56 ^c
7 Laranjeiras1	69,71±0,95 ^{b,c}	1,86±1,08 ^a	1,44±0,35 ^a	2,78±0,09 ^{a,c}	2,86±0,14 ^{a,b}	21,35±0,98 ^c
8Laranjeiras 3	64,58±0,91 ^d	1,77±0,87 ^a	1,22±0,31 ^a	1,85±0,68 ^{b,c,d,e}	2,27±0,16 ^b	28,31±2,3 ^a
9Laranjeiras 4	77,41±2,49 ^a	1,32±0,27 ^a	1,41±0,25 ^a	2,99±0,03 ^a	2,55±0,35 ^b	14,32±1,13 ^a

NOTA: Resultados apresentados em porcentagens na forma de média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

*Nova L. = Nova Laranjeiras

Com base na Tabela 2, observa-se que os resultados obtidos para a umidade variaram entre 64,58 e 77,41%, apresentando diferença significativa. Luengo et al. (2000), obtiveram valor de 72,8%, próximo aos resultados obtidos. Já Leonel e Cereda (2002), obtiveram valor de 67%. Com isso, pode-se dizer que os resultados foram satisfatórios em relação a esse parâmetro avaliado.

A determinação de umidade é um parâmetro importante por estar relacionado ao processo de secagem da matéria-prima. Um teor de umidade menor resultaria em economia de energia e tempo no procedimento de secagem do material *in natura*, em se tratando de um processo industrial (SILVA, LOPES e MAGALHÃES, 2002).

Para o teor de cinzas, os valores obtidos encontram-se numa faixa que varia de 1,15 e 3,43%, não apresentando diferença significativa ($p \leq 0,05$). Resultado próximo foi observado por Andrade Júnior et al. (2012), sendo uma média de 2,78%.

De acordo com a média encontrada para lipídeos no valor de 1,34%, pode-se verificar que não houve diferença significativa ao nível de significância analisado. Andrade Júnior et al. (2012), encontraram valor inferior de 0,7%. Isto pode ser explicado devido a variação na composição centesimal de acordo com a cultivar, condições climáticas, época de colheita, tratamentos culturais, duração e condições de armazenamento (SILVA, LOPES e MAGALHÃES, 2002).

Dados de Souza et al. (2005), demonstraram médias em que o teor de proteína foi de 2,0 a 2,9%, valores estes próximos aos encontrados neste estudo, que abrangem uma faixa de 1,58 a 3,02%.

Para fibras, percebe-se que os resultados variaram entre 2,27 e 3,7%, valores próximos aos apresentados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO, em que o valor é igual a 2,6%, considerando os resultados coerentes (TACO, 2011).

Os valores obtidos para os carboidratos por diferença (média de 19,94%) demonstraram ser os principais constituintes, estando em menor concentração que os valores apresentados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO (TACO, 2011), em que a batata-doce contém 28,2% de carboidratos totais, com exceção da cultivar Laranjeiras 3 que apresentou 28,31%. Esta diferença se deve às condições de solo e cultivares de batatas-doces estudadas.

4.2 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE BATATA-DOCE

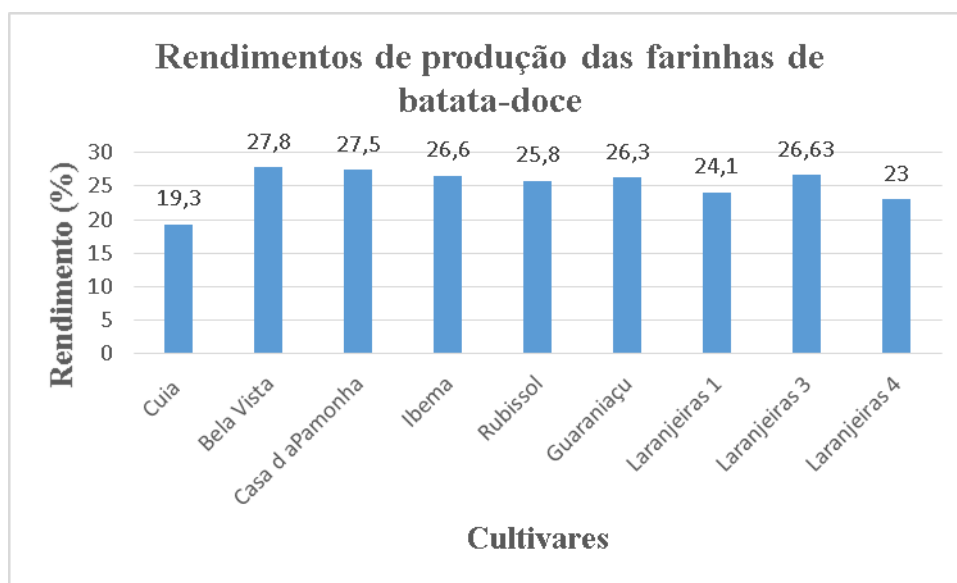
Por meio do processamento da matéria-prima, ou seja, sua secagem em estufa e em seguida a moagem, obteve-se a farinha de batata-doce e conseqüentemente a sua produtividade. A Tabela 3 mostra a produtividade da farinha de batata-doce de cada cultivar em t.ha⁻¹. Na Figura 18, são apresentados os valores dos rendimentos de produção de farinha de batata-doce das cultivares pesquisadas, levando em consideração a quantidade em massa de batata-doce produzida e a quantidade em massa de farinha obtida.

Tabela 3 – Produtividade em t.ha⁻¹ da farinha de batata-doce das cultivares analisadas

Cultivar	Produtividade (t.ha ⁻¹)
1 Cuia	6,86
2 Bela Vista	4,29
3 Nova Laranjeiras	6,48
4 Ibema	7,11
5 Rubissol	5,78
6 Guaraniaçu	8,44
7 Laranjeiras 1	12,00
8 Laranjeiras 3	10,58
9 Laranjeiras 4	9,33

Em relação a Tabela 3, observa-se que a cultivar mais produtiva de farinha de batata-doce foi a Laranjeiras 1 com 12,00 t.ha⁻¹ e a de menor a Bela Vista com 4,29 t.ha⁻¹. Justifica-se pelos valores encontrados da produtividade de batata-doce.

Figura 18 – Rendimentos (%) de produção das farinhas de batata-doce



Fonte: O Autor, 2018.

Com base na Figura 18, percebe-se que os rendimentos em relação a produção de farinha de batata-doce estão próximos ao valor obtido por Santos (2015) (28,2%), com exceção das cultivares Cuia, Laranjeiras 1 e Laranjeiras 4. De acordo com Carvalho, Moura e Pape (1981), o fracionamento da batata-doce pode influenciar o rendimento de sua produção na obtenção da farinha. Ou seja, em sua pesquisa foi observado que batatas laminadas com casca tiveram um rendimento de 35,2%, já as cortadas em cubo com casca, 37,2% e as raladas com casca um rendimento de 34,4%.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises em relação à caracterização da farinha de batata-doce.

A umidade fora das recomendações técnicas resulta em grandes perdas na estabilidade química, na deterioração microbiológica, nas alterações fisiológicas e na qualidade geral dos alimentos (VICENZI, 2008). Dessa forma, a legislação brasileira estabelece um teor de umidade para farinha inferior a 15% (m/m) (ANVISA, 2005). Santos (2015) determinou em sua pesquisa um percentual de umidade igual a 4,13% para farinha de batata-doce, valor inferior ao encontrado neste estudo, que foi uma média de 5,52%, sendo que o resultado entre as cultivares apresentou diferença significativa. A variação pode ter ocorrido em função do tempo de secagem, período de armazenamento e a forma de processamento.

Tabela 4 – Composição centesimal média de farinha de batata-doce em porcentagem de matéria seca

Cultivar	Umidade	Cinzas	Lipídeos	Proteínas	Fibras
1 Cuia	5,40±0,43 ^{a,b}	3,50±0,47 ^a	1,33±0,03 ^{a,b}	24,09±1,26 ^c	4,01±0,36 ^{a,b}
2 Bela Vista	5,09±0,02 ^b	4,33±0,11 ^a	1,73±0,38 ^a	24,82±1,22 ^c	3,81±0,16 ^a
3 Nova Laranjeiras	5,27±0,39 ^{a,b}	3,10±0,26 ^a	0,76±0,07 ^b	32,69±1,24 ^b	3,49±0,24 ^{a,b}
4 Ibema	5,96±0,34 ^{a,b}	3,82±0,63 ^a	1,26±0,09 ^{a,b}	36,03±2,56 ^{a,b}	3,99±0,04 ^{a,b}
5 Rubissol	6,88±0,34 ^a	4,11±0,43 ^a	1,32±0,07 ^{a,b}	39,69±1,42 ^a	2,75±0,70 ^c
6 Guaraniaçu	4,99±1,04 ^b	3,45±0,66 ^a	1,43±0,24 ^a	34,92±1,91 ^b	3,31±0,35 ^{b,c}
7 Laranjeiras 1	4,68±0,68 ^b	4,30±1,54 ^a	1,13±0,06 ^{a,b}	32,33±0,71 ^b	3,05±0,26 ^{b,c}
8 Laranjeiras 3	5,91±0,60 ^{a,b}	3,16±0,28 ^a	1,21±0,32 ^{a,b}	25,70±1,71 ^c	3,84±0,18 ^a
9 Laranjeiras 4	5,51±0,83 ^{a,b}	4,36±0,41 ^a	1,19±0,36 ^{a,b}	39,59±0,53 ^a	4,39±0,37 ^a

NOTA: Resultados apresentados em porcentagens na forma de média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

O teor de cinzas é usado como índice de pureza de farinhas (OLIVEIRA et. al., 2006). Os valores de cinzas encontrados foram de 3,10 a 4,36%, não apresentando diferença significativa ao nível de 95% de confiança (p<0,05). Em sua pesquisa, Silva (2010), obteve um percentual de cinzas igual a 4,16% para a cultivar Brazlândia Rosa. Portanto, resultado satisfatório em relação ao teor de cinzas.

Para o teor de lipídeos foi encontrado um valor médio de 1,26%, apresentando diferença significativa entre as cultivares estudadas. Abujamra (2009), relatou um valor de 0,41%. A diferença pode ter ocorrido em virtude de diferentes cultivares serem pesquisadas.

Os teores de proteínas encontrados entre 24,09 e 39,69%, apresentaram diferença significativa ao nível de 95% de confiança. Araújo (1980), obteve um valor de 6,81%, bem abaixo dos valores obtidos neste estudo. Isto pode ser explicado porque foram avaliadas cultivares diferentes.

O teor de fibras em um alimento é o resíduo orgânico obtido após a amostra sofrer determinado tipo de tratamento químico (BOLZAN, 2013). Nas cultivares estudadas foram verificados teores de fibras que variaram de 2,75 a 4,39%, Abujamra (2009) encontrou um valor de 3,78%, considerando os valores para este parâmetro admissíveis.

Na Tabela 5, são apresentados os teores de açúcares redutores e açúcares redutores totais da farinha de batata-doce.

Tabela 5 – Teores de açúcares redutores e açúcares redutores totais médios da farinha de batata-doce em porcentagem

Cultivar	Açúcares redutores	Açúcares redutores totais
1 Cuia	11,95±0,65 ^b	30,26±0,74 ^a
2 Bela Vista	12,36±1,00 ^b	25,00±0,51 ^b
3 Nova Laranjeiras	14,99±1,12 ^{a,b}	25,54±1,99 ^b
4 Ibema	17,62±0,74 ^a	25,79±0,54 ^b
5 Rubissol	15,73±0,98 ^{a,b}	24,50±0,24 ^b
6 Guaraniaçu	12,31±3,74 ^b	24,14±2,68 ^b
7 Laranjeiras 1	17,81±1,84 ^a	18,26±1,44 ^c
8 Laranjeiras 3	12,22±0,49 ^b	23,56±0,61 ^b
9 Laranjeiras 4	16,39±2,03 ^{a,b}	23,70±1,60 ^b

NOTA: Resultados apresentados em porcentagens na forma de média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Para o teor de açúcares redutores foi verificado um valor médio de 14,6%, apresentando diferença significativa entre as cultivares ao nível de 95% de significância. Abujamra (2009) apresentou um valor médio de 5,5%. A diferença pode ser justificada pelo estudo de diferentes cultivares e, além disso, fatores como nutrição, época de cultivo, período de armazenamento e também o amido presente que vai sendo convertido em açúcares (STROPARO, 2012).

Considerando-se o processamento industrial, sabe-se que os teores de açúcares redutores totais (ART) são determinantes para a obtenção de elevado rendimento e produtividade (AMORIM, 2005). Para este parâmetro foram encontrados valores de 18,26 a 30,26%, sendo que diferem significativamente entre si ao nível de significância analisado. Abujamra (2009) encontrou um valor de 27,96% e Leonel e Cereda (2002), apresentaram um valor de 21,66%, comparando-se estes valores aos do presente estudo, percebe-se a consonância entre os resultados.

4.3 FERMENTAÇÃO

A eficiência e o rendimento do processo de fermentação dependem de alguns fatores importantes que são: temperatura, pH, qualidade da matéria-prima, entre outros.

Assim, a temperatura é sem dúvida, um dos mais importantes parâmetros ambientais que influenciam todas as atividades dos microrganismos, e as leveduras não são exceção. É regra prática estudar o metabolismo da levedura nas temperaturas ao redor de 25 a 30 °C, embora estas temperaturas possam não ser estritamente pertinentes ao considerar os habitats naturais de muitas espécies de leveduras (WATSON, 1987).

O pH, valores entre 4,5 e 6,5 acabam favorecendo o crescimento e desenvolvimento das leveduras (AMORIM, 2005).

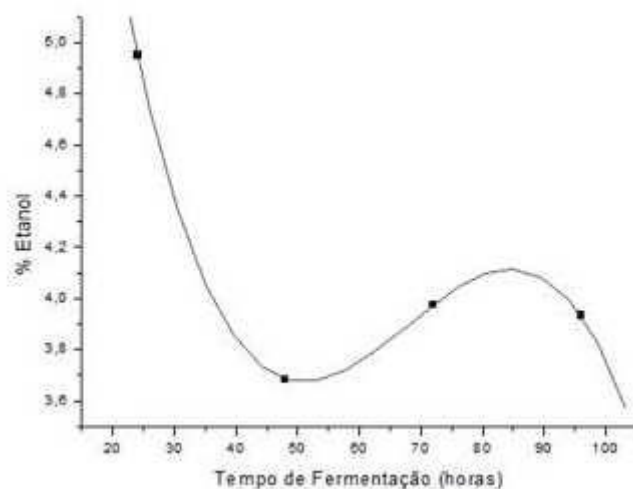
De acordo com Lopes (2013), após um certo período de tempo as condições do meio podem se tornar impróprias para o desenvolvimento das leveduras, dessa forma diminuem sua atividade e passam a consumir o próprio etanol como fonte de carbono para sua sobrevivência, até a sua adaptação ao novo meio.

Na Figura 19, é representado o comportamento das amostras em função do tempo fermentescível.

Salienta-se ainda as variáveis: qualidade da matéria-prima, as condições fisiológicas do inóculo e fatores ambientais como nível inicial de contaminantes, concentração do substrato no mosto, composição nutricional do mosto e concentração do álcool produzido (LOPES, 2013).

É comum no processo de fermentação alcoólica a infecção por bactérias contaminantes, podendo causar a queda da viabilidade celular das leveduras e, conseqüentemente, diminuir o rendimento devido às toxinas e ácidos excretados no mosto (MALTA, 2006).

Figura 19 - Comportamento médio das amostras em função do tempo fermentescível e a % de etanol



Fonte: Neumann, (2014).

4.4 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL (PE)

Para estimar a produção de álcool de cada cultivar, foi utilizada a fórmula sugerida por Silva (2010), a qual promove a correlação entre as quantidades de amido disponível e a produtividade das cultivares pesquisadas.

Considerando os valores de produtividade encontrados na Tabela 1 e os valores de concentração de amido, utilizou-se a seguinte fórmula de conversão à produção estimada de álcool:

$$\text{PE} = (10,349 \times \text{CA} - 89,349) \times \text{Produtividade} \quad (5)$$

Onde:

PE = produção estimada de álcool em L.ha⁻¹

CA = concentração de amido em %

Produtividade = valores encontrados em t.ha⁻¹ para cada cultivar pesquisada

A partir da equação (5) foi possível estabelecer a estimativa de produção de álcool de cada cultivar, sendo apresentada na Tabela 6, juntamente com a concentração de amido (%) e a produtividade t.ha⁻¹.

Tabela 6 – Estimativa de produção de álcool a partir da concentração de amido (CA) e a produtividade para cada cultivar estudada

Cultivar	Produtividade (t.ha ⁻¹)	CA (%)	PE (L.ha ⁻¹)*
1 Cuia	35,56	49,72±1,18 ^a	15120,23±1,69 ^a
2 Bela Vista	15,43	47,27±0,69 ^a	6169,66±0,93 ^c
3 Nova Laranjeiras	23,56	39,61±0,59 ^b	7552,74±0,65 ^b
4 Ibema	26,76	31,20±0,53 ^d	6249,53±0,45 ^c
5 Rubissol	22,40	29,40±0,59 ^{d,e}	4814,02±0,75 ^d
6 Guaraniaçu	32,10	38,56±0,63 ^b	9941,64±0,96 ^b
7 Laranjeiras 1	49,78	35,90±0,87 ^c	14046,93±0,65 ^a
8 Laranjeiras 3	39,72	47,64±0,95 ^a	16034,06±1,12 ^a
9 Laranjeiras 4	40,53	28,78±0,62 ^e	8450,31±0,89 ^b

NOTA: Resultados apresentados em porcentagens na forma de média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

*PE (produção estimada de álcool em L.ha⁻¹).

Considerando que a molécula de amido possui dois tipos de polímeros da glicose, a amilose e a amilopectina (LEHNINGER, NELSON e COX, 2006). Essas moléculas formam pontes de hidrogênio, pois estão associadas paralelamente, o que resulta no aparecimento de regiões cristalinas ou micelares (FRANCO et al., 2001). Além disso, o arranjo da amilose e amilopectina nos grânulos acaba levando a formação de zonas de deposição que são densas. Isto acaba complicando a entrada de moléculas como a água e enzimas, causando certa resistência ao processo de hidrólise (FRANCO et al., 2001).

Durante a hidrólise do amido são eliminados, gradualmente, as unidades de glicose da extremidade da molécula do substrato. A velocidade com que isso ocorre depende do tipo (linear ou ramificada) e da extensão da cadeia: as ligações α -1,4 se hidrolisam mais facilmente que as ligações α -1,6, (SUMERLY et al., 2003). Com base na Tabela 6, verifica-se que a média dos valores encontrados para o teor de amido é de 38,68%, valor inferior ao

relatado por Abujamra (2009) que foi de 55,52%. Isto pode ser atribuído à adubação, já que os teores de amido podem variar em função deste atributo (SILVA, LOPES e MAGALHÃES, 2002). Ou ainda, porque a taxa de hidrólise do grânulo de amido depende da distribuição das camadas cristalinas e semicristalinas, do tamanho, da identidade e interação dos seus constituintes e, além disso, amidos de batata apresentam a camada periférica espessa, isto pode explicar a baixa taxa de hidrólise (GALLANT, BOUCHET e BALDWIN, 1997).

Portanto, a eficiência do processo de hidrólise em relação à matéria-prima estudada pode ser melhorada quando se realiza um pré-tratamento de geleificação do amido antes de hidrolisar a amostra. Agu et al., (1997) estudaram a combinação do pré-tratamento hidrotérmico com a hidrólise ácida usando como matéria-prima o resíduo peneirado de mandioca visando a produção de etanol. Foram investigadas diferentes concentrações de ácido sulfúrico a 120 °C, com tempos de reação de 30 minutos e obtiveram como resultado um rendimento de 60%.

Também na Tabela 6, verifica-se valores para o PE entre 4814,02 e 16034,06 L.ha⁻¹, Silva (2010), que pesquisou diversas fontes de adubação para clones de batata-doce, obteve valores de PE entre 10826,97 e 22467,52 L.ha⁻¹, para o clone UGA118, portanto, com exceção das cultivares Bela Vista, Nova Laranjeiras, Ibema, Rubissol, Guaraniaçu e Laranjeiras 4, o PE das demais cultivares encontram-se coerentes. Silveira et al (2007), em sua pesquisa, verificaram valores de produção de álcool entre 4615,77 e 10467,00 L.ha⁻¹, com exceção das cultivares Cuia, Laranjeiras 1 e Laranjeiras 3, que foram mais produtivas em relação ao álcool, as demais foram coerentes a seus valores.

Correlacionando-se os valores de produtividade, concentração de amido e produção estimada de álcool, verifica-se que a produção de álcool não depende somente da concentração de amido, mas também da produtividade de batata-doce. Em sua pesquisa, Silveira et al (2007), encontraram valores de concentração de amido para a cultivar Carolina Vitória igual a 30,2%; produtividade para a mesma cultivar de 32,17 t.ha⁻¹ e a produção de álcool igual a 6412,12 L.ha⁻¹. Para a cultivar Duda, verificaram uma concentração de amido igual a 24,4%; uma produtividade de 65,50 t.ha⁻¹ e a produção de álcool igual a 10467,00 L.ha⁻¹. Portanto, mesmo a cultivar Carolina Vitória apresentar uma concentração de amido maior que a cultivar Duda, produziu menos álcool, isto pode ser explicado pela sua produtividade ter sido inferior. Neste estudo também foi possível observar esta relação. Por

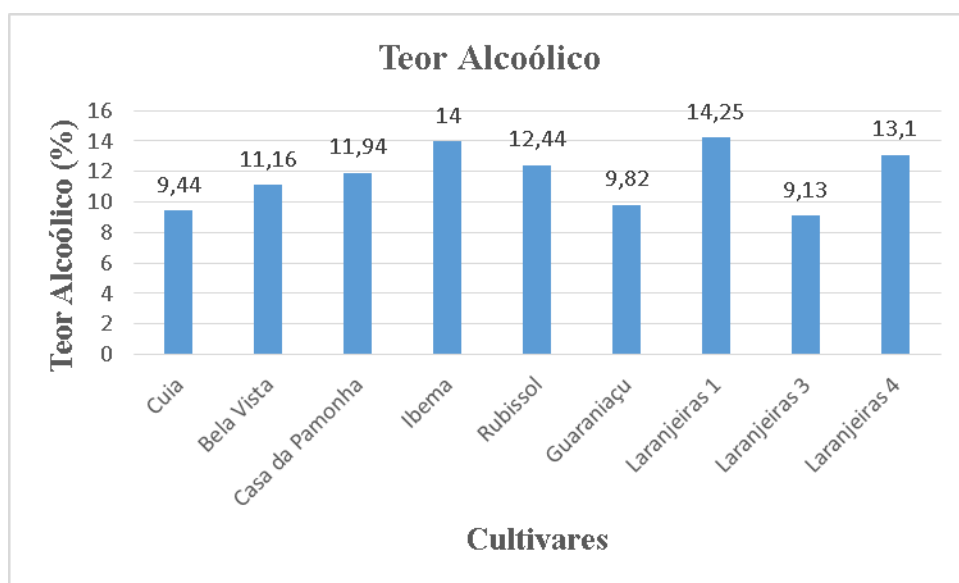
exemplo, para a cultivar Bela Vista, obteve-se uma concentração de amido igual a 47,27%, considerado um valor alto quando comparado a outras cultivares, porém, sua estimativa de produção de álcool (6169,66 L.ha⁻¹) não foi elevada devido a sua baixa produtividade de apenas 15,43 t.ha⁻¹.

4.5 TEOR ALCOÓLICO

O teor alcoólico foi determinado a partir da curva de calibração, esta forneceu a equação da reta sendo: $y = 0,0672 x + 0,0425$, com $R^2 = 0,9865$.

A Figura 20 representa os resultados para o percentual de teor alcoólico.

Figura 20 – Percentual de teor alcoólico das cultivares



Fonte: O Autor, 2018.

Com base nos resultados apresentados em relação ao percentual de teor alcoólico da Figura 20, verifica-se que os valores variaram entre 9,13 a 14,25%. Observa-se que a cultivar Laranjeiras 1 obteve o maior teor alcoólico (14,25%), seguida da cultivar Ibema com 14,00% e a de menor teor a cultivar Laranjeiras 3 com 9,13%. Os valores encontram-se abaixo da faixa de 16 a 25%, resultado obtido por Santos (2015). Neumann et al., (2014) obteve valores

de teor alcoólico de 3,683 a 4,951% álcool (v/v), inferiores aos encontrados. Isto se deve porque diferentes cultivares foram pesquisadas, além disso, características de plantio e solo, condições climáticas, entre outros fatores que influenciam neste aspecto. Deve ser levado em conta também o processo de hidrólise, de fermentação e a destilação.

4.6 ANÁLISE DE INFRAVERMELHO (FTIR)

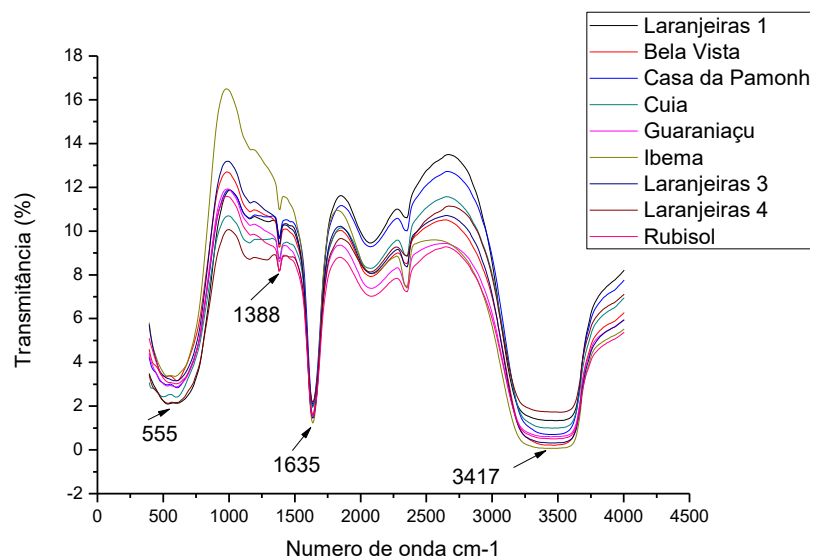
A espectroscopia na região do infravermelho é uma técnica muito importante na análise orgânica qualitativa, sendo amplamente usada nas áreas de química de produtos naturais, síntese e transformações orgânicas. Também é de alta relevância na determinação da pureza e quantificação de substâncias orgânicas, bem como no controle e acompanhamento de reações e processos de separação (LOPES e FASCIO, 2004).

Quando se analisa um espectro de infravermelho percebe-se a divisão deste em três regiões:

- Região 1 (4000 a 1300 cm^{-1}), denominada região de grupos funcionais, na qual aparecem poucas bandas de absorção, refere-se aos estiramentos de ligações dos principais grupos funcionais, como OH, NH e C=O;
- Região 2 (1300 a 900 cm^{-1}), apresenta-se bastante complexa, porque muitas bandas são originadas de modos vibracionais acoplados e referentes ao esqueleto carbônico das moléculas. Esta região é denominada impressão digital, já que ela serve para confirmar a identidade de determinado composto. As absorções mais importantes nessa região são aquelas devidas ao estiramento da ligação C-O de álcoois, fenóis, éteres e ésteres;
- Região 3 (900 a 500 cm^{-1}), geralmente apresenta bandas fortes quando se tem compostos aromáticos, heteroaromáticos e alquenos. Ocorrem devido à deformação angular fora do plano de ligações =C-H. Servem para confirmar algumas contribuições da região 1 (BARBOSA, 2007).

Na Figura 21, é possível observar o espectro de infravermelho das amostras obtidas após o processo de destilação.

Figura 21 – Espectro de infravermelho de álcool de farinha de batata-doce



Fonte: O Autor, 2018.

As bandas de absorção que caracterizam os álcoois são aquelas devido ao estiramento da ligação O-H na região de 3200 – 3700 cm⁻¹ e da ligação C-O entre 1000 e 1280 cm⁻¹. A posição e a intensidade da absorção do estiramento da ligação O-H depende da extensão em que estes grupos estão envolvidos em ligações de hidrogênio (BARBOSA, 2007).

Os espectros de FTIR das amostras de álcool de farinha de batata-doce foram analisadas e os grupos funcionais de compostos alcoólicos foram determinados, e de acordo com a Figura 21, as bandas observadas foram: 3417 cm⁻¹ (3590-3200 cm⁻¹), referente ao estiramento de O-H, é uma banda larga e participa de ligação de hidrogênio; 1388 cm⁻¹ (1410-1320 cm⁻¹) representa a deformação angular de O-H e do estiramento de C-O; 1635 cm⁻¹ (1650-1580 cm⁻¹), sugere-se uma deformação angular no plano de NH₂. Para 555 cm⁻¹ (abaixo de 600 cm⁻¹), aponta-se um grupamento O-H livre. Leite (2017), demonstrou que os picos de absorção entre 3400-3200 cm⁻¹ para amostras de batata-doce, podem ocorrer devido ao estiramento vibracional dos grupos funcionais O-H, uma banda compreendida nesta faixa foi obtida também nesta pesquisa.

A identificação de outro grupo funcional pode ser explicada porque no processo de fermentação, além de álcool são formados outros compostos. Estes são originados do

metabolismo secundário da levedura e outros devido a contaminação do mosto. Bringhenti e Cabello (2005), no estudo realizado da produção de álcool de resíduo amiláceo observaram a ausência de álcoois superiores, metanol, glicerol e ácidos orgânicos.

O estado físico da amostra pode influenciar a frequência de absorção de algumas bandas. Quando o espectro é obtido com a amostra sólida ou líquida pura, pode ocorrer a formação de ligação de hidrogênio, isto faz com que a frequência da absorção de grupos OH e C=O seja reduzida, por exemplo. Em razão disso, em muitas amostras em que o espectro é obtido como pastilha de KBr ou como filme líquido, observa-se um decréscimo na frequência de absorção de algumas bandas quando comparados com os respectivos espectros obtidos com soluções diluídas das amostras em solventes apolares. Além disso, o KBr é muito higroscópico, sendo difícil mantê-lo absolutamente seco. Tal composto pode também reagir com água atmosférica ou com CO₂ durante o preparo da pastilha. Poderá ser observada uma banda de 3300 cm⁻¹ que se trata do estiramento de OH de água presente em KBr. Essa banda está ligada a outra, em 1640 cm⁻¹ (deformação angular de OH) (BARBOSA, 2007).

5 CONCLUSÃO

Foi produzido álcool de nove cultivares de batata-doce, sendo as condições de fermentação em pH igual a 5,0, temperatura 25 °C, durante 5 dias. Nestas condições, a cultivar que apresentou um maior potencial de produção foi a Laranjeiras 3, produzindo 16034,06 L.ha⁻¹ e a de menor foi a Rubissol, produzindo 4814,02 L.ha⁻¹. Constatou-se que o rendimento é influenciado pela concentração de amido e pela produtividade. Em relação ao teor alcoólico, obtido após o processo de destilação em microdestilador, verificou-se que a cultivar que produziu maior percentual foi a Laranjeiras 1 com 14,25% e a menor foi da cultivar Laranjeiras 3 com percentual de 9,13%. Foi possível, mediante leitura em espectroscopia da região de infravermelho, verificar a presença de grupos alcoólicos. Encontrando em 3417 cm⁻¹ uma ligação O-H e em 1388 cm⁻¹ uma deformação angular de O-H e estiramento de C-O.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se a performance da fermentação do hidrolisado, na qual poderia ser variado o tempo de fermentação, obtendo por meio de cálculo a eficiência do processo de fermentação (%) (RIZZOLO, 2014).

Também seria possível verificar a eficiência da fermentação trocando-se o microrganismo. Como exemplo, existe a *Saccharomyces diastaticus* que tem a capacidade de utilizar amido como substrato, por conseguir produzir e secretar glicoamilase (VERMA et al., 2000).

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Nacional de Normas Técnicas. **NBR 13920**, 1997.

ABUJAMRA, L. B. **Produção de destilado alcoólico a partir de mosto fermentado de batata-doce**. 2009. 135 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu-SP.

AGU, C. et al., Combined heat treatment and acid hydrolysis of cassava grate waste (CGW) biomass for ethanol production. **Pergamon waste management**, Awka v. 17, n. 1, p. 91-96, 1997.

AMORIM, H.V. Fermentação alcoólica. **Ciência & tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, p. 448, 2005.

ANDRADE JUNIOR, V. C. et al. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 584-589, 2012.

ANVISA, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução – RDC no 263, de 17 de outubro de 2005. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect>> Acesso em 14 de jun. de 2018.

ARAÚJO, N. Q. Tecnologia da fermentação alcoólica dos polissacarídeos. In: Furtado, J. S. **Fermentações industriais & transformações microbianas**. Sociedade Brasileira de Microbiologia. São Paulo, 1980. 139-151 p.

BALAT, M.; BALAT, H; ÖZ, C. Progress in bioethanol processing. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, p. 551-573, 2008.

BARBOSA, L. C. de A. **Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos**. Viçosa: ed. UFV, 2007. 189 p.

BARCZA, M. V. **Hidrólise**, Escola de Engenharia de Lorena, USP. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~barcza/Hidrolise.pdf>> Acesso em 21 de jun 2018.

BIOMASSA BR: **Revista Brasileira de Biomassa e Energia**. Curitiba: Biomassa BR, v. 6 n. 32, 2017.

BOLZAN, R. C. **Bromatologia**. Frederico Westphalen: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Agrícola de Frederico Westphalen, 2013. 81 p.

BRINGHENTI L.; CABELLO, C. Qualidade do álcool produzido a partir de resíduos amiláceos da agroindustrialização da mandioca. **Energia e Agricultura**. v. 20, n. 4, Botucatu, São Paulo, 2005.

CAETANO, A. C. G.; MADALENO, L. L. Controle de contaminantes bacterianos na fermentação alcoólica com a aplicação de biocidas naturais. **Ciência & Tecnologia: FATECJB**, Jaboticabal, v. 2, n. 1, p. 27-37, 2011.

CARVALHO, M. da P. M.; MOURA, L. L.; PAPE, G. Processo de obtenção de farinha de batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 16, n. 4, p. 551-556, jul/ago, 1981.

DHEPE, P. L.; FUKUOKA, A. **Cellulose conversion under heterogenous catalysis**, v. 1, p. 969-975, 2008.

EMATER. Governo do Distrito Federal. Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural do Distrito Federal – **SEAGRI** – DF. jun. 2012.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional – 2016**. Relatório síntese – ano base 2015. Disponível em: <<http://ben.epe.gov.br/downloads>> Acesso em 23 de mar de 2018.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2016. **FAOSTAT** Estatística banco de dados da Food and Agriculture Organization das Nações Unidas, Roma, Itália. <<http://faostat3.fao.org/home>> Acesso em fev. 2018.

FELTRAN, J. C.; VALLE, T. L. **Batata-doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam): matéria-prima alternativa para a produção de etanol.** Campinas: Instituto Agrônômico – Centro de Horticultura, 2010.

FIGUEIREDO A. F. **Armazenamento de ramas, tipos de estacas, profundidade de plantio e análise do crescimento de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L) Lam.].** 1993. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

FRANCO, C. M. L. et al. Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas: propriedades gerais do amido. **Fundação Cargill**, v. 1, p. 224, abr., 2001.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**. n. 32, p. 177-191. 1997.

GONÇALVES NETO, A. C. et al. Aptidões de acessos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1513-1520, nov. 2011.

GRACIDA RODRIGUEZ, J. N.; PÉREZ-DIAZ, B. Factores previos involucrados en la producción de bioetanol, aspectos a considerar. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v. 30, n. 2, p. 213-227, 2014.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola:** pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas do ano civil. 2014. Rio de Janeiro: IBGE, v.27, n.3, p.1-84, mar., 2014. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/Ispta_201403pdf. Acesso em 26 mai 2014.

JUSUF, M.; GINTINGA, E. The Prospects and Challenges of Sweet Potato as Bio-ethanol Source in Indonesia. In: CONFERENCE AND EXHIBITION INDONESIA RENEWABLE ENERGY & ENERGY CONSERVATION [INDONESIA EBTKE CONEX 2013]. Elsevier, 2014. **Energy Procedia**. 47. p. 173 – 179.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648 p.

LARCHER W. **Physiological plant ecology**. Berlin: Springer, 1995. 448 p.

LAURIE, S. M. et al. Characterization and evaluation of South African sweet potato (*Ipomoea batatas* lam) land races. **South African Journal of Botany**, n. 85, p. 10-16, 2013.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. Sarvier: 2006. 4 ed.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Revista Novos Estudos**. – CEBRAP, n.78, p. 15-21, 2007.

LEITE, C. E. C. **Novas cultivares de batatas-doces (Ipomoea batatas L. Lam.): Potencial nutricional, composição de bioativos, propriedades antioxidantes e análise digital de imagem**. 2017. 201 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR.

LEONEL, M.; CEREDA, M; P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 22, n. 1, p. 65-69, jan-abr. 2002.

LOPES, A. C. **Obtenção e caracterização de etanol produzido a partir de genótipos de batata-doce e avaliação do meio fermentativo**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 670-673, 2004.

LUENGO, R. de F. A. et al. **Tabela de composição nutricional de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n.1, p. 137-156, jan.- mar, 2010.

MALTA, H. L. **Estudos de parâmetros de propagação de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*) para produção de cachaça de alambique**. 2006. 70 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agroenergia. 2016**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/agroenergia>> Acesso em 25 de mai de 2018.

MARINHO, A. V.; RODRIGUES, J. P. M.; SIQUEIRA, M. I. D. **Avaliação da acidez volátil, teor alcoólico e de cobre em cachaças artesanais**. Estudos, Goiânia, v. 36, n. 1/2, p. 75-93, jan./fev. 2009.

MENEZES M. A. et al. **Características fisiológicas de cultivares de batata-doce em função da época de colheita**. 2001. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 41. Resumos... Brasília.

MONTES, S. M. N. M.; PANTANO, A. P. **Cultura da batata-doce do plantio à comercialização**. Instituto Agrônômico, Campinas-São Paulo. 2013, 80 p.

NEGRÃO, L. .C. P.; URBAN, M. L. P. Álcool como *commodity* internacional. **Economia e Energia**. n. 47, p. 8-18, 2005. Disponível em: <<http://ece.com>> Acesso em 10 jul. 2018.

NEIVA I.P. et al. Caracterização morfológica de acessos de batata-doce do banco de germoplasma da UFVJM, Diamantina. **Horticultura Brasileira**. v. 29, p. 537-541, 2011.

NEUMANN, E. R. et al. Doses de potássio na produção e qualidade do álcool de batata-doce. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 256-266, 2014.

OLIVEIRA A.M.S. et al. Características produtivas de clones de batata-doce cultivados em três períodos de cultivo em São Cristóvão - SE. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 33, n. 3, p. 377-382, jul.-set, 2015.

OLIVEIRA, A. P. et al. Rendimento e qualidade de raízes de batata-doce adubada com níveis de ureia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 925-928, out-dez, 2006.

PACHECO, T. F. **Fermentação alcoólica com leveduras de características flocculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Uberlândia.

PAVLAK, M. C. M. et al. Estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 82-86, nov. 2011.

PAVLAK, M. C. M. **Estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae***. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO.

PIMENTEL, D., PATZEK, T. W. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. **Natural Resources Research**, v. 14, n. 1, p. 56 – 76. 2005.

RESENDE, G. M. de. Características produtivas de cultivares de batata-doce em duas épocas de colheita, em Porteirinha – MG. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 68-71, março 2000.

RIZZOLO, J. A. **Estudos para o aproveitamento biotecnológico de variedades de batata-doce [*Ipomea batatas* (L) Lam] na fermentação alcoólica para a produção de etanol combustível e aguardente**. 2014. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SANTOS, E. G. dos. **Produção de álcool a partir de batata-doce com variações nas condições de fermentação**. 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, PR.

SILVA, J. C. **Performance agrônômica de genótipos de batata-doce obtidos de sementes botânica com potencial para produção de etanol**. Tocantins: UFT, 2010. 57 p.

SILVA, J. B. C., LOPES, C. A., MAGALHÃES, J. S. **Agricultura: Tuberosas amiláceas latino americano**, v. 2, cap. 22, p. 448-505. 2002.

SILVEIRA; M. A. Batata-doce: Uma Nova Alternativa para a Produção de Etanol. **Álcool Combustível - Série Indústria em Perspectiva**, Brasília, v. 1. p. 109-122, 2008.

SILVEIRA, M. A. **A cultura da batata-doce como fonte de matéria-prima para produção de etanol**. Boletim Técnico – UFT. 2007. 44 p.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231, 2003.

SOUZA, A. J. L. et al. **Composição centesimal de raízes de cultivares de batata-doce colhidas aos quatro meses**. Mossoró: ESAM. 2005.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. L. **Manual de horticultura orgânica**. 2 ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2006. 843 p.

SUMERLY, R. et al. **Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v. 3, p. 378-449. 2003.

Statsoft, Inc.: **STATISTICA: data analysis software system**. Version 7.0. 2004.

STROPARO, E. C. **Avaliação do processo de hidrólise da batata doce por enzimas comerciais e por enzimas produzidas por *A. niger* em condições otimizadas**. 2012. 96p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, PR.

TAVARES, I. B. **Desenvolvimento de cultivares de batata-doce e técnicas de bioprocessos visando à implantação de mini usinas de álcool combustível como alternativa para pequenas e médias propriedades na Região Norte**. 2006. 42p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Campus de Palmas, UFT, Palmas, TO.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos** - TACO. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: UNICAMP/NEPA, 2011. 161 p.

VANZELLA, E. et al. Processo fermentativo na indústria sucroalcooleira. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, n.1, p. 50-58, 2014.

VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de bebidas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. p. 525.

VERMA, G. et al. Bioconversion of starch to ethanol in a single-step process by coculture of amyolytic yeasts and *Saccharomyces cerevisiae*. **Bioresource Technology** 72, p. 261-266. 2000.

VICENZI, R. **Apostila tecnologia de alimentos**. DCSA – UNIJUÍ. 107p. 2008. Disponível em <<http://www.scribd.com/doc/7164422/Apostila-de-analise-de-alimentos>> Acesso em 12 de mai 2018.

WATSON, K. **Temperature relations**. In: ROSE, A. (ed.). *The Yeasts*. London: Academic Press, v.2, cap.3, p.41-71. 1987.

WILLIAMS, R. et al. Sweet potato can contribute to both nutritional and food security in Timor-Leste. **Field Crops Research**, n. 146, p. 38-43, 2013.

WOICIECHOWSKI, A. L. et al. Acid and enzymatic hydrolysis to recover reducing sugars from cassava bagasse: an economic study. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n.3, p. 393-400, 2002.

YAMAGUCHI, M. **World vegetables: principles, production and nutritive values**. Westport: AVI, 1983. 415 p.