



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**EFICIÊNCIA DO MÉTODO DE SACARIFICAÇÃO SIMULTÂNEA À  
FERMENTAÇÃO (SSF) NA PRODUÇÃO DE ETANOL E CO-  
PRODUTO DE RAÍZES DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE.**

**RAQUEL GONÇALVES FRANÇA**

PALMAS – TO

2015

Raquel Gonçalves França

**EFICIÊNCIA DO MÉTODO DE SACARIFICAÇÃO SIMULTÂNEA À  
FERMENTAÇÃO (SSF) NA PRODUÇÃO DE ETANOL E CO-  
PRODUTO DE RAÍZES DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE.**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal do Tocantins como parte  
dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Agroenergia.**

**Orientador: D.Sc Márcio Antônio da Silveira**

PALMAS – TO

2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

F814e França, Raquel Gonçalves.  
Eficiência do método de sacarificação simultânea à fermentação (SSF) na  
produção de etanol e co-produto de raízes de genótipos de batata-doce.. /  
Raquel Gonçalves França. – Palmas, TO, 2015.  
55 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em  
Agroenergia, 2015.

Orientador: Márcio Antônio da Silveira

1. Ipomoea batatas. 2. SSF. 3. Etanol. 4. Co-Produto.

**CDD 333.7**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer  
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.  
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184  
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados  
fornecidos pelo (a) autor (a).**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

Título: Eficiência do método de sacarificação simultânea à fermentação (SSF) na produção de etanol e co-produto de raízes de genótipos de batata-doce.

Aluna: Raquel Gonçalves França

Data da Defesa: 02/03/2015

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a horizontal line at the end.

Prof. Dr. Márcio Antônio da Silveira (Presidente- UFT)

A handwritten signature in blue ink, written in a cursive style.

Prof. Dr. Valéria Gomes Montezé (Examinador Interno - UFT)

A handwritten signature in blue ink, written in a cursive style.

Prof. Dr. Ildon Rodrigues do Nascimento (Examinador Externo)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta conquista ao senhor meu Deus e à minha família, por estarem sempre comigo e me ajudarem a superar os difíceis momentos que me levaram ao crescimento.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família e ao meu esposo pela compreensão e companheirismo sempre.

Ao Prof. Marcio da Silveira pela confiança no trabalho.

À equipe do LASPER, Wesley, Marysa, Giani e Raimundo e estagiários, que me auxiliaram e acompanharam nesta difícil tarefa.

À equipe do LABIC, Prof. Tarso, Kallyana e Robson por terem me acolhido prontamente.

À CAPES pela bolsa oferecida durante o curso.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1 BIOCOMBUSTÍVEIS.....	13
2.2 ETANOL COMBUSTÍVEL.....	13
2.2.1 Histórico da Produção no Brasil.....	13
2.2.2 Características do Etanol .....	14
2.2.3 Matérias-Primas Utilizadas na Produção de Etanol .....	15
2.3 A CULTURA DA BATATA-DOCE .....	16
2.3.1 Histórico dos Estudos sobre Batata-Doce .....	18
2.4 PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA BATATA-DOCE.....	20
2.4.1 Hidrólise do Amido .....	20
2.4.1.1 Açúcares redutores e açúcares redutores totais .....	21
2.4.2 Fermentação Alcoólica.....	21
2.4.3 Sacarificação Simultânea à Fermentação (SSF) .....	22
2.4.4 Destilação .....	23
2.4.4.1 Normatização do etanol combustível .....	23
2.4.5 Co-Produtos .....	24
2.4.5.1 Proteína bruta (PB) .....	25
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1 PRODUÇÃO DE ETANOL.....	28
3.2 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS .....	30
3.2.1 Determinação do Teor de Amido .....	30
3.2.2 Rendimento de Etanol .....	30
3.2.3 Produtividade de Etanol.....	31
3.2.4 Eficiência da Fermentação.....	31
3.2.5 Determinação da Concentração de Glicose e do Etanol em CLAE.....	31
3.2.6 Análises de Características Físico-Químicas do Etanol .....	32
3.2.7 Produtividade do Co-Produto Seco .....	33
3.2.8 Análise do Teor de Proteína Bruta do Co-Produto da Destilação .....	33
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
4.1 TEOR AMIDO, RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ETANOL .....	35
4.2 TEMPO DA FERMENTAÇÃO .....	37
4.3 EFICIÊNCIA DA FERMENTAÇÃO .....	38
4.4 CONCENTRAÇÃO DE GLICOSE E DE ETANOL EM CLAE.....	39
4.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO ETANOL DE BATATA-DOCE	41
4.6 CO-PRODUTO E SEU TEOR DE PROTEÍNA BRUTA (PB) .....	43
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação dos genótipos de batata-doce utilizados nos ensaios .....	26
Tabela 2 - Teor de amido (base úmida), rendimento e produtividade de etanol (micro-usina). .....	35
Tabela 3 - Tempo médio da fermentação de raízes de batata-doce pelo método de sacarificação simultânea à fermentação (SSF) .....	37
Tabela 4 - Volume teórico e volume prático de etanol e eficiência da fermentação .....	38
Tabela 5 - Valores médios da concentração de glicose e de etanol em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) para 10 genótipos de batata-doce .....	39
Tabela 6 - Resultados da análise de qualidade do etanol de batata-doce e as especificações da ANP (2011) para EHC.....	41
Tabela 7 - Produção de co-produto seco, teor e produtividade de proteína bruta do co-produto e soma da produtividade de proteína bruta do co-produto e da rama em genótipos de batata- doce.....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma do processamento da batata-doce .....	27
Figura 2 - Micro-usina de processamento automatizado de produção de etanol a partir da batata-doce no LASPER/UFT, Palmas-TO. ....	28
Figura 3 - Mosto de genótipo de batata-doce após a adição da enzima $\alpha$ -amilase .....	29
Figura 4 - Mostos de genótipos de batata-doce durante a fermentação.....	29
Figura 5 - Co-produto da destilação seco .....	33
Figura 6 - Valores médios da concentração de glicose e de etanol em dez genótipos de batata-doce através da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) .....	40
Figura 7 - Comparação da produtividade média de proteína bruta (t ha <sup>-1</sup> ) entre a soja e seis genótipos de batata-doce (co-produto + rama) .....	45

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BD – Batata-doce

BDI – Batata-doce Industrial

C.V. (%) - Coeficiente de Variação em porcentagem

CLAE – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência

EAC - Etanol Anidro Combustível

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EHC - Etanol Hidratado Combustível

EHCP - Etanol Hidratado Combustível Premium

CNPH – Centro Nacional de Pesquisa em Hortaliças

EUA – Estados Unidos da América

ha – Hectare

L ha<sup>-1</sup> – Litros por hectare

L t<sup>-1</sup> – Litros por tonelada

LASPER – Laboratório de Sistema de Produção de Energia a Partir de Fontes Renováveis

PB – Proteína Bruta

UFT – Universidade Federal do Tocantins

SSF - Sacarificação Simultânea à Fermentação

t ha<sup>-1</sup> – Tonelada por hectare

TO - Tocantins

μS m<sup>-1</sup> - Micro Siemens por metro

## RESUMO

**FRANÇA, R. G. Eficiência do método de sacarificação simultânea à fermentação (SSF) na produção de etanol e co-produto de raízes de genótipos de batata-doce. 2015. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.**

O Brasil é considerado um dos países que reúne as melhores condições para produção sustentável de etanol. Desta forma, existe a necessidade de estudos que procurem encontrar novas formas de uso de matérias-primas dentro do mercado dos biocombustíveis. A batata-doce possui grande potencial energético e pode ser utilizada diretamente para a produção de etanol. O objetivo deste trabalho foi avaliar o método de SSF (Sacarifcação Simultânea à Fermentação) e a produção de o etanol e co-produto a partir de diferentes genótipos de batata-doce. O experimento foi realizado na micro-usina de processamento automatizado de produção de etanol a partir da batata-doce no Laboratório de Sistema de Produção de Energia a partir de Fontes Renováveis (LASPER), localizado na área experimental da Fundação Universidade Federal do Tocantins, Campus de Palmas-TO. Foram avaliados o rendimento ( $L t^{-1}$ ) e a produtividade ( $L ha^{-1}$ ) do etanol e suas características físico-químicas de acordo com a Resolução ANP nº 7/2011 e avaliou-se o teor e a produtividade de proteína bruta do co-produto da destilação. A fermentação durou em média 22 horas e 03 minutos, o que representa uma redução de 8,3% se comparado ao método tradicional. Duda é o genótipo que possui o maior rendimento de etanol e produtividade de etanol:  $144,20 L t^{-1}$  e  $9.445,17 L ha^{-1}$ , respectivamente. As características físico-químicas do etanol produzido apresentam valores dentro do estabelecido pela ANP. Em relação à proteína bruta do co-produto, o genótipo Bárbara apresenta maior teor (23,19%) e o genótipo Duda apresenta melhor produtividade ( $1,148 ton ha^{-1}$ ).

**Palavra-chave:** *Ipomoea batatas*; SSF; Etanol; Co-produto; Proteína bruta.

## ABSTRACT

**FRANÇA, R. G. Efficiency of the method simultaneous saccharification of fermentation (SSF) in ethanol and coproduct production from roots genotypes of sweet potato. Dissertation (Masters in Agroenergy) - Federal University of Tocantins, Palmas.**

Brazil is considered one of the countries that has the best conditions for sustainable production of ethanol. Thus, there is a need for studies that seek to find new ways to use raw materials in the market for biofuels. The sweet potato has great energetic potential and can be used directly for the production of ethanol. The objective of this study was to evaluate the method SSF (Simultaneous Saccharification of Fermentation) and the production of ethanol and co-product from different sweet potato genotypes. The experiment was conducted in automated processing micro-plant for ethanol production from sweet potato in the Laboratório de Sistema de Produção de Energia a partir de Fontes Renováveis (LASPER), located in the experimental area of the Federal University of Tocantins, Campus Palmas-TO. Were evaluated the yield ( $L\ t^{-1}$ ) and productivity ( $L\ ha^{-1}$ ) of ethanol and its physical and chemical characteristics according to ANP Resolution n° 7/2011 and evaluated the content and productivity of crude protein of co-product from the distillation. Fermentation lasted for on average 22 hours and 03 minutes, which represents a decrease of 8.3% compared to the traditional method. Duda is the genotype which has the greatest ethanol yield, and ethanol productivity:  $144,20\ L\ t^{-1}$  e  $9.445,17\ L\ ha^{-1}$ , respectively. The physical and chemical characteristics of ethanol produced, have values within the established by the ANP. In relation to crude protein of co-product, Barbara genotype has a higher content (23.19%) and genotype Duda has better productivity ( $1,148\ ton\ ha^{-1}$ ).

**Keywords:** *Ipomoea batatas*; SSF; Ethanol; Co-product; Crude protein.

## 1 INTRODUÇÃO

Os biocombustíveis produzidos a partir de fontes renováveis podem ajudar a minimizar a queima de combustíveis fósseis, a dependência mundial pelo petróleo e a produção de CO<sub>2</sub>, responsável por grande parte das emissões para a atmosfera, o que é considerada a principal causa do aquecimento global (BRAGA et al., 2005).

Com isso há uma crescente demanda por matérias-primas produtoras de etanol, sendo as principais: cana-de-açúcar (Brasil), milho (EUA) e beterraba açucareira (Europa). A diversificação da matriz bioenergética pode ser uma nova oportunidade de emprego e geração de renda, contribui para diminuir a dependência do petróleo, gera novas oportunidades de desenvolvimento nos setores agrícola e agro-industrial, além dos benefícios ambientais (MUSSATTO et al., 2010).

Dentre as matérias-primas alternativas para a produção de etanol está a batata-doce (*Ipomoea batatas*). Ela tem sido considerada um substrato promissor para a produção de etanol uma vez que existem diversos estudos que visam o melhoramento genético. As batatas-doces industriais desenvolvidas para a produção de bioenergia são selecionadas por seu maior teor de amido e de melhores rendimentos agrícolas (DUVERNAY et al., 2013). Além disso, possui várias características agrônômicas que determinam sua ampla adaptação, tais como, alta taxa de multiplicação, resistência à seca, curtos ciclos de crescimento, baixa incidência de doenças e pragas, e reveste rapidamente o solo (CAO et al., 2011).

O amido utilizado para produção de etanol não é diretamente fermentável como em outras matérias-primas (cana-de-açúcar, por exemplo), podendo apenas ser fermentado após um processo denominado sacarificação (SILVA, 2010c). Na sacarificação o amido não fermentável é transformado em açúcares fermentescíveis (glicose) (SURMELY et al., 2003), procedimento comum no processo convencional para produção de etanol a partir de fontes amiláceas. Só então é possível prosseguir para a etapa de fermentação alcoólica, responsável pela transformação de açúcar em etanol.

No processo de sacarificação simultânea à fermentação (SSF), à medida que a glicose está sendo formada, também está sendo consumida para a produção de etanol, levando a uma maior conversão do amido (SANTOS et al., 2010).

Quanto ao etanol produzido, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis estabeleceu as especificações para comercialização do Etanol Hidratado Combustível (EHC) em todo o território nacional através da Resolução ANP nº 7, de 9 de fevereiro de 2011 (ANP, 2011).

A partir da pesquisa envolvendo a produção do álcool de batata-doce, surgiu a necessidade de estudos visando o aproveitamento da significativa quantidade do co-produto gerado nesse processo, que possui propriedades nutricionais que poderão ser usados para a produção de rações e alimentos (proteína bruta), agregando valor à produção e consequentemente diminuir a poluição ambiental (SILVEIRA et al., 2014).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o método de SSF (Sacarificação Simultânea à Fermentação) para produção de etanol a partir de diferentes genótipos de batata-doce, e também a eficiência da fermentação, o rendimento de etanol, verificando se este apresentava valores de acordo com a Resolução ANP nº 7/2011 para suas características físico-químicas, e por fim a produtividade de proteína bruta do co-produto.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 BIOCOMBUSTÍVEIS

A partir do início do séc. XIX, os combustíveis fósseis tornaram-se a principal matéria-prima utilizada para produção de energia. Essa crescente procura por energia e os efeitos da utilização de combustíveis não renováveis levaram ao aquecimento global e, conseqüentemente, às constantes preocupações da sociedade sobre os impactos ambientais e à escassez dos recursos naturais (PNA, 2010). Então surgiu a necessidade de uma maior participação das fontes renováveis na matriz energética mundial, que segundo Mello (2001), renovável é quando o consumo de uma fonte energética não ultrapassa o tempo necessário para que a natureza o reponha.

Os biocombustíveis são uma das possíveis soluções para os problemas ambientais, uma vez que, poluem menos por emitirem menos compostos poluentes do que os combustíveis fósseis no processo de combustão dos motores, e também porque são provenientes de fontes renováveis, se destacando biomassa, que do ponto de vista energético, é considerada como toda a matéria orgânica de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia (ANP, 2014). Além de menos agressivo ao meio ambiente, a produção de biocombustíveis através da biomassa acrescenta valor ao setor socioeconômico, proporcionando novos empregos, desenvolvimento rural e conseqüentemente a redução da dependência do petróleo, bem como a melhoria da balança comercial (RIBEIRO, 2009).

Sendo assim, é cada vez mais importante estudar as culturas agrícolas como potenciais fontes geradoras de energia (DANTAS et al., 2005). Neste contexto, algumas biomassas têm se destacado como produtoras de etanol, sendo principalmente a cana-de-açúcar, beterraba açucareira, batata-doce e a mandioca (MELLO, 2001).

### 2.2 ETANOL COMBUSTÍVEL

#### 2.2.1 Histórico da Produção no Brasil

No Brasil, as indústrias de açúcar e álcool estiveram sempre intimamente ligadas. Acredita-se que a produção de etanol no Brasil teve início, a partir das sobras de melaço da indústria de açúcar, no último quarto do século XIX (CARVALHO, 2011). Com o embargo do

petróleo na década de 1970, o Brasil, assim como os demais países importadores de petróleo encontrava-se em situação de vulnerabilidade quanto ao abastecimento de combustíveis líquidos, sendo que o país importava 80% do petróleo consumido (TAVARES, 2006). Por esta razão, foi criado em 14 de novembro de 1975 o Pró-álcool - Programa Nacional do Álcool, cujo objetivo era estimular a produção de etanol, visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos (ANCIÃES et al., 1981). Durante o Pró-álcool, outras fontes de matéria-prima, como a mandioca e a batata-doce, foram cogitadas para a produção de etanol. Entretanto, em razão de algumas limitações no cultivo dessas culturas, dentre as quais produtividade, pragas e doenças, após este período não houve prosseguimento no uso (TAVARES, 2006).

Em 1978 foi movido o primeiro veículo exclusivamente a etanol, e a partir daí houve um aumento constante da demanda do etanol. Em 2002 foi apresentado o primeiro veículo com motor *flex-fuel*, que começou a ser produzido em série no Brasil a partir de março de 2003, sendo que os mesmos podem ser movidos a gasolina, a etanol ou com uma mistura dos dois, representando 16% dos veículos novos vendidos no Brasil em março de 2004, evoluindo progressivamente, sendo que em 2009 já representavam mais de 95% (ANFAVEA, 2009).

### 2.2.2 Características do Etanol

O álcool combustível ou carburante é também conhecido como etanol, álcool etílico ou álcool de biomassa. Pode ser obtido a partir de qualquer tipo de biomassa que contenha açúcar, amido ou material celulósico. É caracterizado como um líquido incolor, de odor ardente, facilmente inflamável, de chama azulada e muito higroscópico (capacidade de absorver água). É considerado um excelente combustível automotivo, pois apresenta um índice de octanagem superior ao da gasolina e tem uma pressão de vapor inferior, resultando em menores emissões evaporativas (MACHADO e ABREU, 2006). É usado principalmente como combustível líquido, misturado à gasolina ou usado como insumo na fabricação de aditivo à gasolina (MARTINS, 2010).

O etanol combustível é utilizado na forma anidra ou hidratado. O etanol anidro, por possuir menos água em sua composição, é o mais adequado para a mistura carburante com a gasolina, pois pode poupar a gasolina e a mistura carburante proporciona a eliminação do chumbo-tetra-etila, poluente resultante da queima da gasolina (CASTRO, 2009). Já o etanol hidratado, é adequado para os veículos movidos exclusivamente a álcool, sendo que o rendimento do motor com álcool hidratado é de 20% a 27% menor do que a gasolina, isto

significa que para cada quilômetro rodado com gasolina é necessário um consumo volumétrico de álcool com esta proporção (MACHADO e ABREU, 2006). Segundo Bringhenti e Cabello (2005), o álcool hidratado não apresenta diferença quanto à matéria-prima utilizada, sendo restrita às impurezas que acompanham o etanol, que são características de cada matéria-prima e o grau de purificação pelo qual passou o produto.

Conforme Carvalho (2011), existe ainda álcoois mais puros (neutro, fino e extra-fino), sendo comercializados apenas em maior grau de purificação para indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica, o que lhes confere um valor agregado mais alto.

### 2.2.3 Matérias-Primas Utilizadas na Produção de Etanol

Segundo Machado e Abreu (2006) qualquer material que contenha uma quantidade considerável de carboidratos constitui-se em matéria-prima para obtenção do álcool. Entretanto, para que seja economicamente viável, é preciso que considere o seu volume de produção, rendimento industrial e custo de fabricação.

As matérias-primas para produção de etanol podem ser classificadas em matérias açucaradas (cana-de-açúcar, beterraba açucareira, sorgo sacarino, milho sacarino, melaços, mel de abelhas e frutas), matérias amiláceas (raízes e tubérculos como mandioca, batata-doce e babaçu), e matérias celulósicas (palhas, madeiras, resíduos agrícolas e resíduos de fábricas de papel) (SILVA, 2010a). Os materiais açucarados têm a vantagem de não necessitarem de nenhum tratamento prévio à fermentação, tornando o processo menos oneroso, ao contrário dos materiais amiláceos e lignocelulósicos, que, para serem convertidos a substratos fermentescíveis, requerem um pré-tratamento (SUN e CHENG, 2002).

Dentre as matérias-primas açucaradas, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é a mais abundante no mercado brasileiro, o que possibilita a produção de etanol em larga escala para diversos usos que variam desde o uso combustível até o consumo humano através da produção de cachaça (DORNELLES e RODRIGUES, 2006). A supremacia dessa matéria-prima está ligada à quantidade de açúcar e conseqüentemente de etanol, que é possível produzir por hectare/ano. No processo de produção de etanol, a cana-de-açúcar gera também o bagaço como subproduto, que é usado na produção de energia térmica, elétrica e mecânica (SILVA, 2010a). No entanto, a sua queima, no momento da colheita, emite uma série de compostos poluentes que afetam direta e indiretamente a saúde da população circunvizinha aos canaviais, porém o estabelecimento de elevada tecnologia de colheita têm sido uma das alternativas para se evitar a queima da cana, entretanto, ainda é uma tecnologia insipiente e cara, tornando o

plantio da cultura com finalidade para produção de etanol restrita somente a grandes produtores e empresas (SOUZA et al., 2010).

Segundo Salla et al. (2007), a produção de etanol por fermentação de substratos amiláceos vem sendo objeto de pesquisas que buscam aperfeiçoar a conversão desses materiais de modo mais rápido e a custos reduzidos, a fim de inserir de forma definitiva as amiláceas no cenário agroenergético nacional, visando a diversificação da matriz energética. Dentre as matérias-primas amiláceas com maior potencial para bioconversão em etanol estão: a batata-doce, mandioca e o milho (CEREDA, 2001).

A cultura da batata-doce tem sido recentemente, objeto de estudo visando os melhores procedimentos para uma produção eficiente de etanol. Pesquisas indicam o potencial desta cultura para a bioconversão de amido em etanol, além das elevadas produtividades agrícolas (SILVEIRA, 2008). A batata-doce pode armazenar em suas raízes até 75,43% de amido (base seca), representando elevado potencial de produção de etanol através da bioconversão deste produto. Quanto à produtividade, estudos demonstram índices de até 65 t ha<sup>-1</sup>, com produção de etanol de aproximadamente 200 litros por tonelada de raiz (SILVA, 2010a), superando, de forma significativa, as produtividades do milho e mandioca. O balanço energético da produção de etanol da batata-doce, ao contrário do milho, é positivo (1:1,45), destacando esta cultura frente ao milho (SILVEIRA et al., 2014). Em termos de produtividade de etanol por hectare, tem-se que a batata-doce produz cerca de 4.600 a 10.000 L ha<sup>-1</sup>, ao passo que o milho norte americano produz somente 3.200 L ha<sup>-1</sup> (SILVEIRA et al., 2014).

Outra categoria de matérias-primas são as celulósicas, na qual o etanol é produzido a partir da celulose existente em sua composição, como eucalipto, marmeleiro, serragem, bagaço de cana, pericarpo de babaçu, casca de arroz, entre outros, sendo necessário converter a celulose em sacarose antes da fermentação, e isso pode ser feito utilizando-se também a via enzimática ou a via ácida (BASTOS, 2007). O custo de produção do etanol de biomassa lignocelulósica é relativamente elevado e os principais desafios são o baixo rendimento e o alto custo do processo de hidrólise (OLIVEIRA et al., 2014).

### 2.3 A CULTURA DA BATATA-DOCE

A batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] pertencente à família botânica Convolvulaceae, que agrupa aproximadamente 50 gêneros e mais de 1000 espécies. Há evidências que suportam a hipótese de que a batata-doce seja de origem americana. Baseado em análises de características morfológicas de batata-doce cultivada e espécies silvestres de

*Ipomoea*, o centro de origem mais provável está entre a faixa da Península de Yucatan no México e a foz do rio Irinoco na Venezuela (SILVA et al., 2008; AUSTIN, 1988; SRISUWAN et al., 2006).

Relatos de seu uso evidenciam mais de dez mil anos, com base em análise de batatas secas encontradas em cavernas localizadas no vale de Chilca Canyon, no Peru e em evidências contidas em escritos arqueológicos encontradas na região ocupada pelos Maias, na América Central (BARRERA, 1986).

Possui boa resistência contra a seca, ampla adaptação e é de fácil manutenção. Apresenta ainda uma grande variabilidade genética, possível de exploração pelos melhoristas, pois cada planta oriunda de semente botânica é geneticamente diferente de todos os outros e representa, potencialmente, uma nova cultivar (GELMINI, 1992). A batata-doce é uma espécie perene, contudo cultivada anualmente em regiões localizadas entre o Trópico de Câncer e de Capricórnio e entre as latitudes 42°N até 35°S, no entanto, apresenta uma melhor adaptação ao clima tropical. Possui ciclos médios de três a sete meses, variáveis em função do material genético, do manejo, do propósito e das condições climáticas (FILGUEIRA, 2003).

Como citado por Soares et al. (2002), a necessidade hídrica dessa planta durante o ciclo situa-se de 500 a 750 mm, se desenvolvendo melhor em temperatura média superior a 24°C, com alta luminosidade, foto período longo e adequada umidade do solo, preferindo clima quente para sua produção.

Apesar de ser uma cultura típica de áreas geográficas de baixa fertilidade com capacidade para se desenvolver em qualquer tipo de solo, desde os francos arenosos até os mais argilosos, consideram-se como ideais os solos mais leves, soltos, permeáveis, bem drenados e com boa aeração. A planta pode ser considerada como tolerante à acidez do solo, podendo crescer e produzir bem em solos com pH entre 4,4 a 7,7, sendo o intervalo ideal entre 5,6 e 6,2 (SILVEIRA et al., 2007).

A propagação da batata-doce pode ser feita por meio de mudas, estacas, sementes botânicas, enraizamento de folhas destacadas ou cultura de tecido. Porém as ramas constituem o meio de propagação mais recomendado para as culturas comerciais por ser mais econômico (MIRANDA et al., 1995).

Segundo Ribeiro (2009), a raiz de batata-doce é considerada uma fonte de energia, minerais e vitaminas, e sua composição química pode variar de acordo com a cultivar, condições climáticas, época de colheita, tratos culturais, condições e duração de armazenamento. É rica em carboidratos (amido principalmente), com teores de 13,4 a 29,2%,

açúcares redutores de 4,8 a 7,8%. Apresenta baixos teores de proteínas (1,0 a 2,9%) e de gorduras (0,3 a 0,8%).

Segundo Pereira (2011), do total de matéria seca da batata-doce, aproximadamente 65 a 80% estão sob a forma de amido. Isso demonstra que o teor de amido está altamente correlacionado com o teor de matéria seca (WANG, 1982), e que a matéria seca está fortemente correlacionada ao rendimento de etanol produzido através da batata-doce (SILVA, 2010a). Para a indústria de etanol, é mais relevante uma cultivar que contenha maior teor de amido em sua composição do que a que tenha maior produtividade (CARVALHO, 2011). As concentrações de amido podem variar de acordo com a cultivar, condições climáticas, épocas da colheita, tratos culturais e condições de armazenamento (THUMÉ, 2011). Também varia positivamente dependendo da dose de adubação de fósforo (OLIVEIRA et al., 2005).

A batata-doce requer tratos culturais que devem ser seguidos rigorosamente quando o plantio for motivado para interesses comerciais, como por exemplo, a produção de etanol (LÁZARI, 2011). Mesmo sendo o principal produtor da América do Sul, segundo Silva et al. (2002), o investimento na cultura de batata-doce é muito baixo no Brasil e o principal argumento contrário ao investimento em tecnologia é que a lucratividade da cultura é baixa. Isso decorre do pequeno volume individual de produção, ou seja, muitos produtores ainda tendem a cultivar a batata-doce como cultura marginal, com o raciocínio de que, gastando-se o mínimo, qualquer que seja a produção da cultura constitui um ganho extra.

Aproximadamente 85% da produção de batata-doce é obtida na Ásia, 10% na África e 5% no restante do mundo. A China é a maior produtora do mundo, ultrapassando 75 milhões de toneladas em 2011, enquanto o Brasil ocupa a 18ª posição (FAO, 2013). No Brasil a batata-doce é cultivada em praticamente todos os estados, embora utilizando áreas de cultivos pequenas (ABH, 2012). Segundo IBGE (2013), a produção nacional foi de quase 545 mil toneladas e a produtividade média ficou em torno de 13,09 t ha<sup>-1</sup> em 2013.

### 2.3.1 Histórico dos Estudos sobre Batata-Doce

Araújo et al. (1978), desenvolveram projetos relacionados à obtenção de etanol a partir da batata-doce, observando que uma das vantagens dessa cultura seria o alto teor de açúcar presente na raiz *in natura*. A partir desse estudo, obteve-se resultados expressivos, alcançando-se cerca de 158 litros de etanol por tonelada de batata-doce, utilizando-se da metodologia de hidrólise enzimática. Entretanto, esses autores ficaram limitados em prosseguir com seus estudos, devido à baixa produtividade em campo dos clones obtidos na época, que variavam

entre 11 a 13 toneladas por hectare, e recomendou maiores estudos sobre a batata-doce no que se refere à pesquisa agrícola no sentido de aumentar a produtividade em campo.

Barrera (1986) relatou que a produção de álcool a partir de batata-doce era altamente desejada não só pela larga possibilidade de cultivo deste produto no território brasileiro, mas também porque era importante a busca de sucedâneos da cana-de-açúcar para alimentar as destilarias que conquistaram o Brasil na esteira do Pró-Alcool.

Os estudos de Silveira começaram por volta de 1991, que resultou no lançamento de duas cultivares de batata-doce selecionadas a partir de 12 famílias de sementes botânicas procedentes de diversas regiões do Brasil. Em 1993, 850 genótipos foram inicialmente avaliados, e desses, 25 apresentaram resistência às quatro raças de nematóde *Meloidogyne incógnita* e *M. javanica*. Os genótipos selecionados foram avaliados em diversos campos experimentais, onde se destacaram duas cultivares: Palmas e Canuanã, com produtividades médias de 40,56 t ha<sup>-1</sup> e 23,75 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estas cultivares foram selecionadas com características para a mesa, além da resistência, com formato de raiz fusiforme e cor de casca rosada, ideal para ser comercializada *in natura* (SILVEIRA et al., 1997).

Foi então que a partir de 1997, Silveira et al. passaram a direcionar a seleção de batata-doce com objetivos voltados para indústria de etanol. Em estudos realizados com a batata-doce no Tocantins, levaram ao desenvolvimento de 10 cultivares com características industriais para a produção de etanol. Essas pesquisas tiveram como foco principal a inserção da agricultura familiar na cadeia agroenergética nacional, setor este que se encontra às margens do crescente mercado de etanol em nível mundial (SILVEIRA et al., 2008; SILVEIRA et al., 2007).

Nos anos de 1999 e 2000, Silveira et al. (2002) realizaram uma coleta por todo o Estado do Tocantins, com o objetivo de ampliar o número de genótipos de batata-doce. Foi então estabelecido um programa de melhoramento genético na Universidade Federal do Tocantins voltado ao aumento do acúmulo de biomassa da batata-doce, onde foram selecionados clones com produtividade entre 28 e 65 t ha<sup>-1</sup> e teores de amido entre 24% a 30%, nas condições climáticas e de solo do estado do Tocantins (SILVEIRA et al., 2008).

Em trabalho realizado por Tavares (2006), que avaliou o desenvolvimento de novas cultivares para a implantação de mini-usinas de álcool combustível como alternativa para pequenas e médias propriedades na região Norte, foram identificados genótipos com produtividade de 59,7 t ha<sup>-1</sup>. Já Silva (2010a) destacou clones de batata-doce pela alta produtividade agrícola média (50,06 a 54,62 t ha<sup>-1</sup>), alto teor de amido em base seca (59,57 a 62,47%), alto teor de matéria seca (30,92 a 37,92 %), médio teor de açúcares redutores totais (151,785 a 171,945 mg g<sup>-1</sup>) e pelo bom rendimento em etanol (140,96 a 174,59 L t<sup>-1</sup>).

A Embrapa Clima Temperado também tem atuado junto aos produtores para melhoramento do material genético, adequação das práticas de cultivo, principalmente na etapa de produção de mudas. Como consequência desse trabalho, algumas cultivares lançadas em 2011 apresentaram produtividade média de 40 t ha<sup>-1</sup>, podendo atingir 60 t ha<sup>-1</sup> (MASIERO, 2012).

Segundo Silveira et al. (2008), é imprescindível a seleção de cultivares adaptadas para fins de produção de etanol, incorporando nestas as principais características agrícolas (elevada produtividade, alto teor de matéria seca, resistência a insetos do solo e doenças) para que a cultura se torne uma opção real no programa brasileiro de bioenergia.

## 2.4 PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA BATATA-DOCE

### 2.4.1 Hidrólise do Amido

O amido utilizado para produção de etanol não é diretamente fermentável como em outras matérias-primas (como a cana-de-açúcar), podendo apenas ser fermentado após um processo denominado sacarificação (SILVA, 2010c). Isso é devido à sua composição, que é constituído essencialmente por dois polissacarídeos: amilose e amilopectina (TAPARELLI, 2005).

Antes da sacarificação, todos os materiais amiláceos devem passar por uma etapa de cozimento, para que sejam dissolvidos os amidos solúveis em água (CEREDA, 2005). A sacarificação é o processo de transformação do amido ou fécula não fermentável em açúcares fermentescíveis (glicose), e pode ser realizada por via química ou por via biológica através de ação enzimática ou de microrganismos (SURMELY et al., 2003).

A hidrólise ácida possui a vantagem de reduzir o tempo relativo à sacarificação do amido, porém apresenta uma série de restrições, tais como corrosão de equipamentos, necessidade de correção do pH da solução açucarada, destruição parcial dos açúcares e formação de açúcares não fermentescíveis (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003), o que tem feito a hidrólise enzimática ser preferida nos estudos atuais (SUMERLY et al., 2002).

As enzimas são proteínas especializadas na catálise de reações biológicas, acelerando a velocidade de uma reação sem, no entanto, participar como reagente ou produto (OLIVEIRA et al., 2008). Elas podem ser obtidas a partir de fontes de origem animal (pancreatina, pepsina, renina, catalase), de fontes vegetais (papaína, bromelina, ficina, amilases do malte) ou a partir

de microrganismos (SANTANA, 2007). As enzimas amilolíticas pertencem à categoria das enzimas que catalisam as reações de hidrólise do amido (CEREDA e VILPOUX, 2003).

#### 2.4.1.1 Açúcares redutores e açúcares redutores totais

Os açúcares redutores totais (ART), segundo Ripoli et al. (2004), representam todos os açúcares do material na forma de açúcares invertidos (sacarose, glicose, frutose, lactose), englobando todos os açúcares fermentescíveis e os não fermentescíveis. Os açúcares redutores (AR) são monossacarídeos, compreendendo a glicose e a frutose. Os dissacarídeos, caso não sofram hidrólise da ligação glicosídica, são denominados de açúcares não redutores (CARVALHO, 2011).

Para Bezerra et al. (2002), as avaliações de açúcares redutores podem fornecer informações relacionadas com as reservas de amido nas raízes. As concentrações destes açúcares poderão ser influenciadas pela época de colheita, pelo período de armazenamento e pelas variedades utilizadas. A quantidade de glicose e frutose presentes na matéria-prima reflete, diretamente, no rendimento da fermentação, visto que constituem os açúcares fermentescíveis (RIPOLI et al., 2004).

Miyake (1915) determinou que os açúcares dos tubérculos de batata-doce são compostos tanto de açúcares redutores, como de não-redutores. Glicose e frutose representam os açúcares redutores, enquanto que o açúcar não-redutor encontrado é a sacarose.

#### 2.4.2 Fermentação Alcoólica

A fermentação alcoólica é o processo bioquímico, que ocorre no citoplasma da levedura alcoólica, responsável pela transformação de açúcar em álcool etílico. Esse processo é realizado por mais de uma dezena de enzimas, e pode ser considerado como a oxidação anaeróbica, parcial, da glicose, por ação de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*), com a produção final de álcool etílico, além de outros produtos secundários como, por exemplo, o CO<sub>2</sub> (SILVA, 2010c). Vários microrganismos, incluindo a *Saccharomyces cerevisiae*, não são capazes de degradar o amido, uma vez que não produzem enzimas que o decompõem (ALTINTAS et al., 2003), pois metaboliza apenas açúcares simples, como sacarose, glicose e frutose, o que justifica a necessidade de um tratamento prévio de hidrólise e sacarificação para converter o amido em açúcar livre, tornando possível a utilização no metabolismo da levedura (ALVIM, 2013).

O tempo de fermentação pode variar de acordo com a matéria-prima, e os principais fatores que podem afetar o rendimento da fermentação são: a temperatura, pH, concentração de substratos e de microrganismos. A temperatura e o pH conferem um controle positivo do crescimento microbiano, o que pode favorecer o desenvolvimento das leveduras produtoras de etanol em detrimento das bactérias contaminantes. A concentração de microrganismos favorece a velocidade da conversão dos açúcares fermentescíveis em etanol, no entanto, eleva a competição pelos nutrientes do meio, inviabilizando o fermento. A concentração de substratos influencia no crescimento celular da levedura, que está intimamente relacionado com a formação do produto. Por isso, é importante determinar a concentração ótima do substrato, que possibilite o maior aproveitamento pela levedura e, conseqüentemente, uma boa eficiência de conversão (CASTRO, 2009).

A fermentação está completa quando a concentração de açúcares fermentescíveis, medida pelo teor de sólidos em solução (°Brix), estiver zerado. Neste ponto, o líquido fermentado estará pronto para ser destilado (CASTRO, 2009). As temperaturas ótimas para a produção industrial de etanol situam-se na faixa de 26 a 35°C. Quanto ao pH, nos mostos industriais os valores geralmente se encontram na faixa de 4,5 a 5,5 (ALVIM, 2013).

#### 2.4.3 Sacarificação Simultânea à Fermentação (SSF)

A sacarificação e fermentação simultâneas (SSF) é uma forma de evitar a inibição enzimática, uma vez que, à medida que a glicose está sendo formada, também está sendo consumida para a produção de etanol, levando a uma maior conversão do amido. Um processo em SSF requer uma condição intermediária de temperatura para as enzimas e para a levedura adicionada, uma vez que a temperatura ótima para a sacarificação é cerca de 55°C e 30°C para a fermentação (SANTOS et al., 2010; SILVEIRA et al., 2014).

Segundo Cinelli (2012), no processo de SSF, a glicose é rapidamente convertida em etanol, assim que é formada, evitando seu acúmulo no meio. E também reduz o *stress* osmótico uma vez que as células de levedura são expostas a uma concentração relativamente mais baixa de açúcar, assim oferecendo a possibilidade de taxas de produção mais elevadas (KOBAYASHI et al., 1998). Além disso, a presença de etanol no meio reacional também propicia uma mistura menos vulnerável à ação de microrganismos indesejáveis (BOTHAST e SCHLICHER, 2005). O processo SSF proporciona ainda uma operação com menor necessidade de equipamentos do que para o processo sequencial, uma vez que não são necessários reatores de hidrólise (CARDONA e SÁNCHEZ, 2007).

#### 2.4.4 Destilação

O álcool presente no mosto fermentado é recuperado por meio da destilação, processo de separação de componentes de uma mistura baseado nas suas volatilidades em uma dada temperatura e pressão. Na destilação, a mistura é aquecida até a ebulição, sendo que os vapores são resfriados até sua condensação. Este processo se baseia no fato de que, numa solução de líquidos voláteis, o fracionamento dos mesmos se dá de tal forma que os que apresentam pontos de ebulição mais baixos se separam primeiro, seguidos pelos outros componentes em uma sequência correspondente às suas respectivas volatilidades (CASTRO, 2009).

Para se fazer a separação, usa-se um processo em série ou contínuo, que leva ao progressivo enriquecimento em álcool da corrente de líquido ascendente. Por este processo obtém-se, a partir de um mosto fermentado de 7 a 9% de teor alcoólico, um álcool com teor próximo a 96% em etanol. A partir deste ponto ocorre um fenômeno físico, denominado “azeotropia” e a destilação fracionada não funciona mais. A mistura nesta composição é chamada “mistura azeotrópica” (MACHADO e ABREU, 2006).

O processo de destilação em batelada ou descontínuo é conduzido em equipamento denominado alambique. Nesse processo é feita a carga no aparelho, o álcool é esgotado do vinho por aquecimento, evaporação, condensação e refrigeração, descarrega-se o co-produto, também chamado de vinhaça, faz-se nova carga, e assim por diante. A principal vantagem deste tipo de processo é a simplicidade, não requerendo um fornecimento constante de vinho, o que nem sempre é disponível em plantas pequenas (CASTRO, 2009).

##### 2.4.4.1 Normatização do etanol combustível

Criada em 1998, como Agência Nacional do Petróleo, a autarquia teve suas atribuições ampliadas em 2005 e incorporou ao seu nome as palavras "gás natural e biocombustíveis". Vinculada ao Ministério de Minas e Energia, a Agência – como órgão regulador do setor - executa as diretrizes e proposta do Conselho Nacional de Política Energética. No desempenho de suas atribuições, a ANP contribui diretamente para o desenvolvimento do setor e também trabalha na defesa dos direitos dos consumidores, sendo responsável por especificar e fiscalizar a qualidade dos produtos que chegam aos postos de revenda (ANP, 2014).

Apesar de o Brasil ter iniciado as suas experiências com etanol em 1925, e começar a adicionar álcool à gasolina importada a partir de 1931, só em 2005 a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis estabeleceu as especificações para comercialização do

Etanol Anidro Combustível (EAC) e do Etanol Hidratado Combustível (EHC) em todo o território nacional e definiu as obrigações dos agentes econômicos sobre o controle de qualidade do produto através do Regulamento Técnico ANP nº 7/2005, anexo da Resolução ANP nº 36 de 06 de dezembro de 2005 (ANP, 2005), sendo revogado pela Resolução ANP nº 7/2011 de 09 de fevereiro de 2011 e Regulamento Técnico ANP nº 3/2011, que estabelece as especificações para o Etanol Anidro Combustível (EAC) e o Etanol Hidratado Combustível (EHC), nacional ou importado (ANP, 2011).

A não padronização da qualidade do etanol pode originar problemas como a dificuldade no armazenamento, logística de distribuição, possibilidade de contaminação (mistura) do produto e a dificuldade de tornar o etanol um produto comercializado de acordo com os valores internacionais, pois não haverá um padrão de referência para negociação, descaracterizando o produto como uma commodity (SILVA, 2008).

#### 2.4.5 Co-Produtos

Grande parte das atividades agrícolas geram co-produtos que podem ser reutilizados para agregar valor à produção e conseqüentemente diminuir a poluição ambiental, sendo uma das mais lógicas alternativas, sua aplicação na alimentação animal, principalmente a bovinocultura confinada e a aquicultura moderna (SILVEIRA et al., 2014).

A partir da pesquisa envolvendo a produção do álcool de batata-doce (SILVEIRA et al., 2007), iniciou-se os estudos visando o aproveitamento da significativa quantidade do co-produto gerado nesse processo, que possui propriedades nutricionais que sustentam na elaboração de diversas composições de rações para alimentação animal, o que pode vir a constituir uma fonte de renda valiosa para o produtor e para o usineiro. Porém, para a otimização do uso comercial desse co-produto, ainda demandará diversos estudos no sentido de se propor modelos de processamentos, sistemas de armazenamento e distribuição, recomendações técnicas de uso, ou seja, todos os passos necessários para que possa ter seu uso devidamente credenciado e autorizado pelos órgãos responsáveis (SILVEIRA et al., 2014).

Segundo Silveira et al. (2014), no processo de produção de etanol da batata-doce via fermentação úmida origina-se dois co-produtos:

- Co-produto Úmido: é constituído por um líquido denso, de coloração marrom claro. Esse material é basicamente composto de fibras lignificadas, fibras solúveis, material nitrogenado, proteína bruta, sais minerais, diminutas concentrações de etanol e água,

ressaltando que este material pode ser utilizado diretamente para alimentação fluida de ruminantes;

- Co-produto Seco: possui a mesma composição qualitativa do co-produto úmido, diferenciando-se deste, quantitativamente, apenas em relação aos conteúdos de etanol residual e de umidade. Depois de triturado, possui aparência de um farelo seco, sendo esta uma importante característica físico-química para quando se pensar nas condições necessárias à formulação e armazenamento de uma ração.

#### 2.4.5.1 Proteína bruta (PB)

Segundo Teixeira (2001), a proteína bruta (PB) permite identificar a qual classe o alimento pertence, sendo que alimentos com valores de proteína bruta em base seca superiores a 20% são considerados proteicos, tendo como fontes originárias os vegetais (constituídas principalmente pelas sementes ou resíduos de oleaginosas, como por exemplo, farelos de algodão, amendoim, soja, etc.) e animais (construídos de resíduos de pescados, frigoríficos e abatedouros, tais como os farelos de carne, peixes, sangue e etc.).

Para Fernandes et al. (2000), na alimentação animal, a proteína é o nutriente que mais diretamente interfere no crescimento e tem influência direta no ganho de peso, na conversão alimentar e na composição da carcaça.

Estudos sobre o requerimento e utilização da proteína e energia são de grande importância nos aspectos nutricionais e econômicos, resultando em maior precisão no balanceamento das dietas (ROJAS e VERDEGEM, 1994).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para este experimento foram utilizados 10 genótipos de batata-doce que fazem parte do Programa de Melhoramento Genético da batata-doce da Universidade Federal do Tocantins (Tabela 1). As amostras foram coletadas em experimento realizado por Lorenzo Paradiso Martins, Mestre em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins, que foi conduzido de janeiro a agosto de 2012 na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Palmas-TO, com coordenadas geográficas Latitude: 10°10'40" S; Longitude: 48°21'43"O; Altitude: 220 m em um Latossolo Vermelho Amarelo-distrófico (MARTINS, 2013). As amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Sistema de Produção de Energia a partir de Fontes Renováveis (LASPER/UFT), localizado na Área Experimental da Fundação Universidade Federal do Tocantins, Campus de Palmas-TO.

Tabela 1 - Relação dos genótipos de batata-doce utilizados nos ensaios.

<b>Genótipos</b>	<b>Origem</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Produtividade média Tocantins (t ha<sup>-1</sup>)</b>
Amanda	UFT	Precoce	46,70
Bárbara	UFT	Tardio	37,70
Beatriz	UFT	Médio	43,00
Carolina Vitória	UFT	Tardio	32,17
Duda	UFT	Tardio	65,50
Júlia	UFT	Precoce	40,56
Marcela	UFT	Médio	36,80
BDI2007.PA06	PMG-UFT*	Tardio	21,10
BDI2007.PA26	PMG-UFT*	Médio	47,61
Princesa	EMBRAPA	Precoce	27,40

Fonte: Silveira et al., 2008; Martins, 2013.

\*PMG-UFT - Programa de Melhoramento Genético da UFT.

O bioprocesso desenvolvido para produção de etanol a partir da batata-doce foi realizado atendendo ao protocolo do Laboratório de Sistema de Produção de Energia a partir de Fontes Renováveis (LASPER), conforme a metodologia usada por Silva (2010a), que consiste na hidrólise enzimática do amido para obtenção do etanol, com algumas adaptações para o processo de sacarificação simultânea à fermentação (SSF), obedecendo-se aos procedimentos descritos no fluxograma (Figura 1), sendo realizada na micro-usina piloto de etanol de batata-doce do LASPER/UFT (Figura 2).

Figura 1- Fluxograma do processamento da batata-doce.

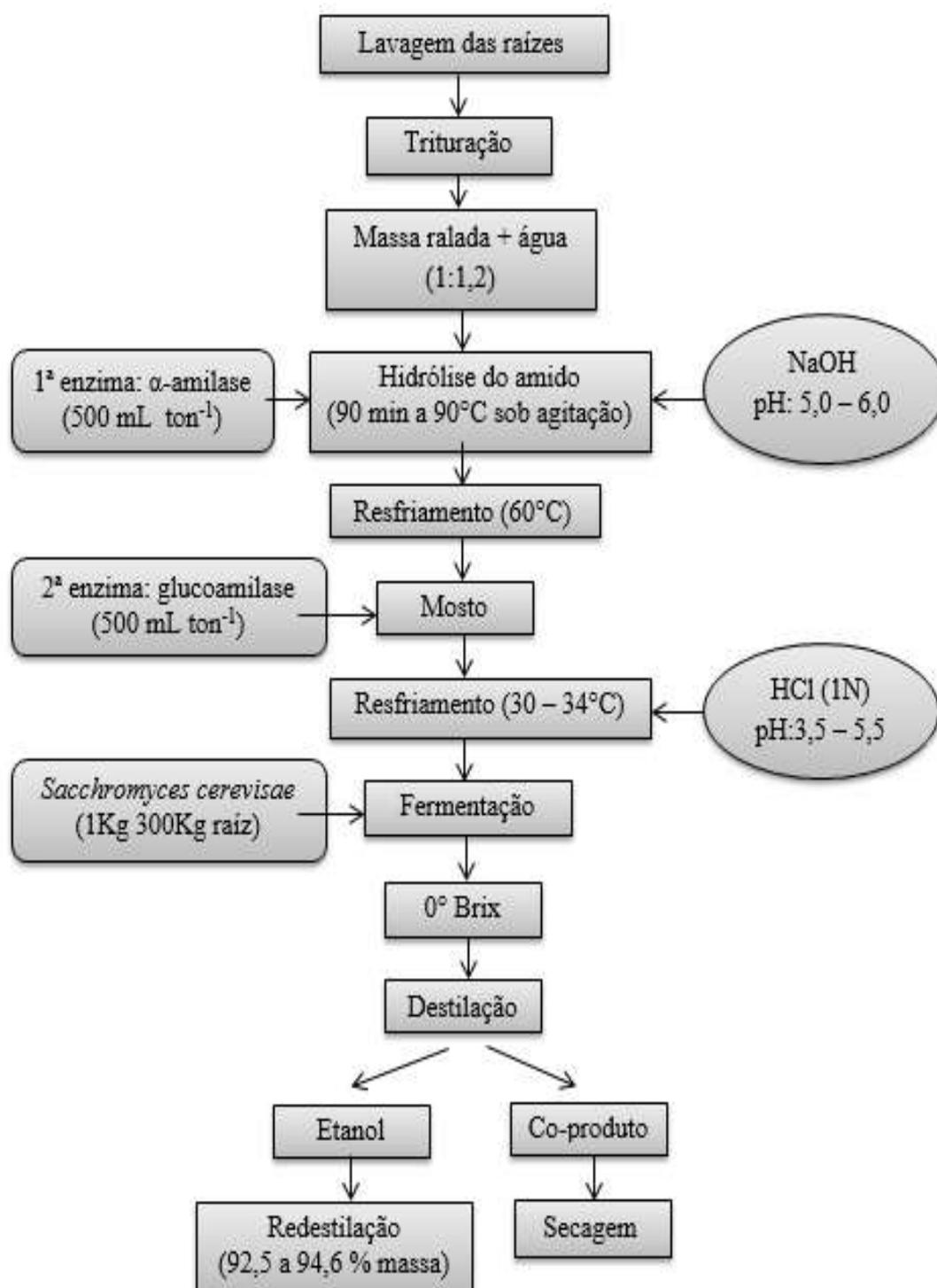


Figura 2 - Micro-usina de processamento automatizado de produção de etanol a partir da batata-doce no LASPER/UFT, Palmas-TO.



França, R. G. 2015.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com dez tratamentos e três repetições, totalizando 30 bateladas (tratamentos), sendo esses dados submetidos à análise de variância (ANAVA) e seguido de comparação pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott ao nível de 5% significância, utilizando o programa ASSISTAT Versão 7.7 beta (SILVA e AZEVEDO, 2002).

### 3.1 PRODUÇÃO DE ETANOL

Aproximadamente 6 kg de raízes de cada parcela foram lavados e picotados em moinho, onde a massa ralada resultante foi colocada em saco plástico transparente e armazenada em freezer. A massa ralada de batata-doce foi descongelada e diluída em água potável na proporção de 1:1,2 da massa ralada/água, e em seguida transferida para um reator da microusina e, quando necessário, o pH foi corrigido para que estivesse dentro da faixa ótima (5,0-6,0) de atuação da enzima alfa-amilase. As enzimas utilizadas neste experimento foram gentilmente doadas pela empresa Novozymes.

Foi acrescentada a enzima liquidificante alfa-amilase *Liquozyme Supra 2.2X* (na proporção de 500 mL t<sup>-1</sup> de raiz) e aplicou-se aquecimento gradual até 90°C, sob agitação constante por 90 minutos (Figura 3), tempo necessário para a liquefação do amido.

Figura 3 - Mosto de genótipo de batata-doce após a adição da enzima  $\alpha$ -amilase.



França, R. G. 2015.

Finalizada esta etapa, foi aferido o pH e quando necessário foi feito o seu ajuste com ácido clorídrico (HCl) para obter o pH ideal de atuação da enzima glucoamilase (3,5-5,5). Para realizar a sacarificação foi adicionado 500 mL  $t^{-1}$  de raiz de *Spirizyme Fuel* (glucoamilase) à 60°C, sendo, logo após, realizada a transferência do meio para uma dorna de resfriamento, e quando alcançava a temperatura ideal para o processo fermentativo (30-34°C) realizava-se a leitura do °Brix (com densímetro portátil digital Anton Paar modelo DMA 35), e, quando necessário, realizava-se a diluição com água para adequar o mosto na faixa de 13°Brix, e logo em seguida o mosto foi inoculado com o fermento comercial Fleischmann® (*Saccharomyces cerevisiae*) numa proporção de 1 kg para 300kg de raiz, mantendo-se a temperatura em 30°C durante todo o processo fermentativo (Figura 4), sendo concluído quando o teor de sólidos em solução zerava (0 °Brix). Após a fermentação, todo o meio fermentado foi transferido para o sistema de destilação da microusina para separação do etanol e do co-produto.

Figura 4 - Mostos de genótipos de batata-doce durante a fermentação.



França, R. G. 2015.

Foram coletadas amostras em dois pontos do processo para a avaliação da concentração de glicose (ponto antes da fermentação) e do etanol (ponto depois da fermentação) em CLAE (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência).

O etanol e o co-produto obtidos foram medidos e armazenados, sendo que o etanol foi posteriormente redistilado em Micro destilador de Álcool modelo TE 02 Marca Tecnal até ficar entre 92,5 % e 93,8 % massa de álcool e depois realizadas as análises de qualidade físico-química, e o co-produto foi seco em estufa.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

#### 3.2.1 Determinação do Teor de Amido

Foi determinado segundo a metodologia proposta por Savell et al. (1995), em base seca, a partir da farinha da batata-doce com leitura em espectrofotômetro de absorção molecular, Modelo Nir 900 (Femto), dados também coletados no experimento de Martins (2013). Os valores obtidos foram convertidos para teor de amido em base úmida pela seguinte equação:

$$\text{Amido (b. u.) (\%)} = \text{Teor de matéria seca (\%)} \times \text{Amido (b. s.)} \quad (\text{Equação 1})$$

#### 3.2.2 Rendimento de Etanol

O volume total do etanol obtido no processo foi medido utilizando uma proveta e feita a aferição do seu teor alcoólico com densímetro portátil digital Anton Paar modelo DMA 35, e seu rendimento foi calculado através da equação:

$$R \text{ (L t}^{-1}\text{de raiz)} = \frac{(\text{Vol. etanol} \times \text{°GL}) / 96 \text{°GL}}{\text{Peso BD}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: R = Rendimento de etanol (L t<sup>-1</sup>de raiz);

Vol<sub>etanol</sub> = Volume total de etanol (L);

GL = °Gay Lussac (°GL= %V)

P<sub>BD</sub> = Peso da batata-doce (kg).

### 3.2.3 Produtividade de Etanol

Para calcular a produtividade de etanol multiplicou-se o rendimento de etanol ( $L t^{-1}$ ) pela produtividade média de raiz no Tocantins ( $t ha^{-1}$ ).

### 3.2.4 Eficiência da Fermentação

Foi necessário calcular antes o rendimento teórico de etanol produzido, levando em consideração a produtividade de etanol e a produtividade da batata-doce do experimento realizado por Lorenzo Paradiso Martins, segundo a equação:

$$RT (L t^{-1}) = \frac{Prod_{etanol}}{Prod_{BD}} \times 1000 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: RT = Rendimento teórico de etanol produzido ( $L t^{-1}$ );

$Prod_{etanol}$  = Produtividade de etanol ( $m^3 ha^{-1}$ );

$Prod_{BD}$  = Produtividade da batata-doce ( $t ha^{-1}$ ).

Relacionou-se o rendimento teórico de etanol produzido ( $L t^{-1}$ ) e o etanol produzido durante a fermentação ( $L t^{-1}$ ). Considerando uma tonelada de raiz, serão volume teórico (L) e volume obtido (L), respectivamente.

A eficiência da fermentação pode ser calculada segundo a equação (ZHANG et al., 2010):

$$\text{Eficiência da fermentação (\%)} = \frac{\text{etanol produzido}}{\text{etanol teórico}} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

### 3.2.5 Determinação da Concentração de Glicose e do Etanol em CLAE

A análise cromatográfica das substâncias (glicose e etanol) foi realizada em um cromatógrafo líquido de alta eficiência marca Shimadzu (LC-10 Series Avp; degaseificador: DGU-14A, integrador: CLASS LC-10), com eluição isocrática, pelo bombeamento (LC-10AD) de uma fase móvel composta de 5 mM de ácido sulfúrico em água ultrapura (destilada e deionizada). O fluxo do eluente foi de  $0,6 mLmin^{-1}$ , a  $35^{\circ}C$  (forno de coluna CTO-10A), com corrida de tempo total de 30 minutos. A detecção se deu em detector de índice de refração

(Shimadzu, modelo RID-10A). Uma alíquota de 20,0 µl da amostra foi injetada manualmente (injetor Rheodyne - iL malha 20) e permeada por uma coluna da marca Phenomenex Rezex ROA-Organic Acid H+ (300 x 7,8mm). Padrões de cada substância foram utilizados para construção da curva de calibração, que forneceu uma equação, utilizada para calcular a concentração.

### 3.2.6 Análises de Características Físico-Químicas do Etanol

As seguintes análises de qualidade físico-químicas do etanol foram feitas e comparadas com as especificações estabelecidas para o Etanol Hidratado Combustível (EHC) da Resolução nº 7, de 9 de fevereiro de 2011 (acompanhada pelo Regulamento Técnico nº 3/2011) da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2011):

- Teor alcoólico: O teor alcoólico foi medido por densimetria eletrônica (densímetro portátil digital Anton Paar modelo DMA 35) onde resultou no valor do teor alcoólico em % m/m, também conhecido como °INPM.
- Condutividade elétrica: A amostra foi colocada em umbéquer e a corrente elétrica medida foi convertida em condutividade, e lida diretamente no condutivímetro (condutivímetro de bancada HANNA INSTRUMENTS, modelo HI 225).
- Cor: A amostra foi colocada em uma proveta e a sua cor foi comparada visualmente em relação ao padrão de cor platina cobalto.
- Aspecto Visual: A amostra foi colocada em uma proveta, onde se observou visualmente a presença ou não de material em suspensão.
- Massa específica: A amostra foi introduzida na célula do densímetro eletrônico (densímetro portátil digital Anton Paar modelo DMA 35), que emprega o princípio da frequência de ressonância, e então foi feita sua leitura e automaticamente sua transformação para a temperatura de 20°C.
- Acidez total: Um volume de amostra foi titulado com solução de hidróxido de sódio 0,02 mol/L em presença do indicador fenolftaleína até o ponto de viragem.
- Teor de hidrocarbonetos: A amostra foi diluída e colocada em uma proveta e a sua turvação ou miscibilidade é observada visualmente.

### 3.2.7 Produtividade do Co-Produto Seco

A produtividade do co-produto seco foi calculada segundo a equação:

$$Prod. co - produto = \frac{[(MS \times produção) \times 0,15] + [(MS \times produção) \times 1000]}{peso BD (kg)} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: Prod. co-produto = Produtividade do co-produto seco (kg t raiz<sup>-1</sup>)

MS = Teor de matéria seca

Produção = produção do co-produto (kg)

Peso<sub>BD</sub> = Peso da batata-doce inicial (kg)

### 3.2.8 Análise do Teor de Proteína Bruta do Co-Produto da Destilação

Uma parte dos co-produtos úmidos das destilações foi colocada em estufa com circulação de ar (Tecnal/TE-3941/1) a 55°C durante 72 horas para secagem (Figura 5), segundo a metodologia proposta por Silveira et al. (2014), e após secos, os co-produtos foram armazenados. As análises do teor de proteína bruta foram feitas pelo Laboratório Arasolo – Análises de Solo, pelo método Kjeldahl. Os equipamentos usados foram o Bloco Digestor (Tecnal) e Micro Destilador TE 036 (Tecnal).

Figura 5 - Co-produto da destilação seco.



França, R. G. 2015.

A produtividade de proteína bruta do co-produto foi calculada segundo a equação:

$$\text{Prod}_{\text{PB}} (\text{t ha}^{-1}) = \frac{(\text{Peso}_{\text{co-produto}} \times 0,1)}{\text{Peso}_{\text{BD}}} \times \text{MS} \times \text{PB} \times \text{Prod}_{\text{BD}} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:  $\text{Prod}_{\text{PB}}$  = Produtividade da proteína bruta do co-produto ( $\text{t ha}^{-1}$ )

$\text{Peso}_{\text{co-produto}}$  = Peso do co-produto da destilação (kg)

$\text{Peso}_{\text{BD}}$  = Peso da batata-doce inicial (kg)

MS = Teor de matéria seca (%)

PB = Teor de proteína bruta (%)

$\text{Prod}_{\text{BD}}$  = Produtividade da batata-doce ( $\text{t ha}^{-1}$ )

A produtividade média de proteína bruta da rama da batata-doce foi calculada multiplicando a produtividade da matéria seca das ramas pelo o teor de proteína bruta das ramas, dado encontrado por Costa (2015).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 TEOR AMIDO, RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ETANOL

Na Tabela 2 pode-se observar, quanto ao teor de amido (base úmida), que os genótipos avaliados diferiram estatisticamente entre si, cujas médias variaram de 19,08% a 24,10%. Júlia foi o genótipo que teve menor teor e a de maior teor foi Carolina Vitória. O teste comparativo de médias possibilitou a formação de 2 grupos, sendo que o primeiro grupo foi formado por 6 genótipos que apresentaram valores médios variando de 21,7% (PA 06) a 24,10% (Carolina Vitória). O segundo grupo foi constituído por 4 genótipos, sendo Júlia o genótipo com menor percentual de amido (19,08%) e Princesa com maior percentual dentro do grupo (20,16%).

Tabela 2 - Teor de amido (base úmida), rendimento e produtividade de etanol (micro-usina).

Genótipo	Amido (b.u) (%)*		Rendimento de etanol (L t <sup>-1</sup> )		Produtividade de etanol (L ha <sup>-1</sup> )	
Amanda	19,66	b	130,77	a	6106,87	b
Barbara	19,97	b	121,99	a	4599,14	c
Beatriz	22,82	a	130,40	a	5607,16	b
Carolina Vitória	24,10	a	133,78	a	4303,67	c
Duda	23,36	a	144,20	a	9445,17	a
Júlia	19,08	b	131,63	a	5339,08	b
Marcela	22,10	a	127,72	a	4700,06	c
PA 06	21,70	a	143,08	a	3018,88	d
PA 26	23,06	a	129,10	a	6146,64	b
Princesa	20,16	b	128,21	a	3512,87	d
Média	21,60		132,09		5277,95	
C.V. (%)	7,10		15,1		14,8	

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

\*Martins (2013).

Em pesquisa realizada por Zhang et al. (2010), ao avaliarem o teor de amido em base úmida em batata-doce cultivada na China, os pesquisadores relataram média de 34,12%, enquanto Srichuwong et al. (2012) relataram teores de amido de 27,8 a 28,5% em base úmida em clones produzidos no Japão. Já Santana et al. (2014), em Palmas-TO, encontraram teores de 26,83%, 26,04% e 25,12% para o genótipo BDI (2011)81 e as cultivares de batata-doce industrial, Carolina Vitória e Duda, respectivamente.

Para o rendimento de etanol também não houve variação significativa entre os 10 genótipos de batata-doce analisadas neste estudo, cujas médias variaram de 121,993 L t<sup>-1</sup> (Bárbara) a 144,201 L t<sup>-1</sup> (Duda). Comparando-se os valores de rendimento de etanol estimado por Martins (2013), pode-se observar que os genótipos utilizados nesse experimento tiveram valores mais baixos, uma vez que isso é esperado devido ao fato que os cálculos de estimativa não levam em conta os fatores intrínsecos e extrínsecos que podem vir a prejudicar tanto o processo de sacarificação quanto o de fermentação.

Silveira et al. (2008), avaliando 10 cultivares de batata-doce industrial para produção de etanol no estado do Tocantins, relataram médias de rendimento de etanol variando entre 124,08 a 199,32 L t<sup>-1</sup>, resultados maiores que os obtidos no presente estudo. Castro (2009) obteve rendimento de etanol entre 149,3 e 213,45 L t<sup>-1</sup> ao utilizar soro de queijo como substituto da água de hidratação do mosto fermentativo na produção convencional de etanol a partir de duas cultivares de batata-doce industrial, Amanda e Carolina Vitória, tendo a testemunha apresentado valores entre 176,2 L t<sup>-1</sup> e 183,82. Em estudo realizado por Silva (2010a), o mesmo destacou clones de batata-doce pelo bom rendimento em etanol, dentre as quais pode se destacar os clones 01-37 (174,59 L t<sup>-1</sup>), CNPH1189 (153,91 L t<sup>-1</sup>) e CNPH1199 (140,961 L t<sup>-1</sup>). Silva (2010b) ao comparar 5 metodologias visando um maior rendimento em etanol, encontrou o melhor rendimento em etanol (190,26 L t<sup>-1</sup>) quando utilizou a combinação do genótipo Marcela com a metodologia M5 (6 kg de batata-doce, 6 L de água, 1,5 ml de  $\alpha$ -amilase e 0,0245 ml de glicoamilase/kg de raiz e 25 g de fermento comercial Fleischmann® liofilizado (*Saccharomyces cerevisiae*). Lázari (2011) ao avaliar 100 clones de batata-doce industrial a fim de conhecer o comportamento dos fatores genéticos, destacou genótipos com altos rendimentos em etanol que variaram de 151,67 (BDI/2-73) a 234,33 L t<sup>-1</sup>(BDI/114-17). Já Pavlak (2010), estudando a fermentação do hidrolisado de batata-doce industrial utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*. Em seu experimento o rendimento de etanol variou entre 91,1 L t<sup>-1</sup> e 97,5 L t<sup>-1</sup>.

Ainda analisando a Tabela 2, a produtividade de etanol apresentou média de 5.277,95 L ha<sup>-1</sup>, sendo que Princesa foi a menos produtiva, com valor de 3.512,87 L ha<sup>-1</sup>, e Duda foi a que apresentou melhor resultado, com 9.445,17 L ha<sup>-1</sup>, devido sua alta produtividade em campo. Comparando com o rendimento na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, que segundo Kohlhepp (2010) é em média 6.800 L ha<sup>-1</sup>, pode-se considerar que a produtividade do genótipo de batata-doce Duda é alta.

Ziska et al. (2009) também relata sobre as fontes potenciais de carboidratos para produção de etanol nos EUA, ressaltando que no Alabama e Maryland a cultura de batata-doce

foi promissora para produção de etanol, alcançando no experimento 8.839 L.ha<sup>-1</sup>, contra 6.195 L.ha<sup>-1</sup> da cana-de-açúcar, naquele país. E Lázari (2011) avaliando o comportamento dos fatores genéticos entre 100 clones de batata-doce industrial através de procedimentos multivariados apresentou a produtividade média de etanol de 3.392,9 L ha<sup>-1</sup>.

#### 4.2 TEMPO DA FERMENTAÇÃO

O tempo de fermentação foi dividido em 2 grupos, sendo Bárbara o genótipo que apresentou menor tempo (15 horas e 01 minuto) e Carolina Vitória, o maior tempo (27 horas e 27 minutos), sendo a média de 22 horas e 03 minutos (Tabela 3). No método tradicional (fermentação posterior à sacarificação), a média da duração da fermentação para produção de etanol a partir da batata-doce, é de 24 horas, o que corresponde a uma redução de 8,3% no tempo, possivelmente causado pelo imediato consumo da glicose para produção de etanol, logo que é hidrolisada, sendo, portanto, o método de sacarificação simultâneo à fermentação (SSF) recomendado para a diminuição do tempo da fermentação.

Tabela 3 - Tempo médio da fermentação de raízes de batata-doce pelo método de sacarificação simultânea à fermentação (SSF).

Genótipos	Tempo de Fermentação (horas)	
Amanda	16:20:00	B
Barbara	15:01:40	b
Beatriz	25:22:00	a
Carolina Vitória	27:27:20	a
Duda	22:58:40	a
Julia	19:55:40	b
Marcela	24:02:40	a
PA 06	24:54:00	a
Pa 26	26:35:00	a
Princesa	17:53:00	b
Média	22:03:00	
CV%	15,37	

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Zhang et al. (2011), pesquisando bioprocessos para produção de bioetanol a partir de batata-doce crua por *Saccharomyces cerevisiae* em laboratório, usinas piloto e industrial, encontraram uma média de 27 horas para que o processo SSF fosse concluído e 33 horas para os processos SHF (Hidrólise e Fermentação Separadas) e PSSF (SSF Parcial), representando

uma diferença de 18,19%. Concluiu-se que o método de SSF é vantajoso em comparação com o modo de SHF e PSSF quanto à contaminação do processo, e também na redução dos investimentos de capital de bioetanol facilidade de produção por ser executado num reator em vez de dois reatores (no caso de SHF e PSSF). Já Cinelli (2012), investigando o uso de resíduos da agroindústria do babaçu para produção de extrato enzimático e obtenção de etanol através de SSF, encontrou uma diferença de 27,78% quando comparou o tempo total do processo entre SHF e SSF, sendo que o método de SSF foi concluído em 52 horas contra 72 horas do processo SHF, apresentando também maior rendimento em etanol em SSF.

Fazendo uma comparação do tempo de fermentação entre espécies amiláceas produtoras de etanol, a batata-doce, através do método de SSF, conseguiu-se uma média de 22 horas. O tempo de fermentação para a produção de etanol a partir do milho é de 38 a 45 horas (CONAB, 2012). Já para a total fermentação do mosto de mandioca, o tempo necessário é de 36 a 48 horas (CAMACHO, 2009).

#### 4.3 EFICIÊNCIA DA FERMENTAÇÃO

A Tabela 4 mostra os valores para volume teórico de etanol, volume prático de etanol e eficiência da fermentação. Os dados encontrados neste trabalho para eficiência da fermentação foram de 73,8% a mais baixa, para o genótipo Bárbara de 92,2% a mais alta, para Júlia, a média foi de 81,3%.

Tabela 4 - Volume teórico e volume prático de etanol e eficiência da fermentação.

<b>Genótipos</b>	<b>Volume teórico de etanol (L)*</b>	<b>Volume prático de etanol (L)</b>	<b>Eficiência da fermentação (%)</b>
Amanda	158,43	130,77	82,5
Barbara	151,53	121,99	80,5
Beatriz	172,63	130,40	75,5
Carolina Vitória	181,31	133,78	73,8
Duda	175,08	144,20	82,4
Júlia	142,73	131,63	92,2
Marcela	164,11	127,72	77,8
PA 06	163,61	143,08	87,4
PA 26	168,82	129,10	76,5
Princesa	151,78	128,21	84,5
Médias	163,51	132,09	81,3

\*Martins (2013).

Augustini e Junior (2007) encontraram o valor de 71,43% para eficiência da fermentação do processo de obtenção de etanol a partir da mandioca, quando relacionada à quantidade de produto obtido no processo e o valor teórico esperado para o mesmo. Para os autores, o fator determinante para o sucesso na produção de etanol a partir de mandioca é a realização de uma hidrólise eficiente, ou seja, uma alta conversão de amido em açúcares, pois o processo de fermentação, seja ele da cana-de-açúcar ou da mandioca não apresentar diferenças, basta que se tenha disponível açúcares fermentescíveis no mosto para a conversão em etanol pelas leveduras alcólicas. Jin et al. (2012) encontraram dados de eficiência da fermentação de 88,6 % a 91,9% em plantio realizado na China para investigar o desempenho na produção de etanol de 10 variedades de batata-doce.

#### 4.4 CONCENTRAÇÃO DE GLICOSE E DE ETANOL EM CLAE

Na Tabela 5 são apresentados os resultados de concentração de glicose e etanol, sendo que foram coletadas amostras em dois pontos do processo para a avaliação da concentração de glicose (ponto antes da fermentação) e do etanol (ponto depois da fermentação) em CLAE (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência).

Tabela 5 - Valores médios da concentração de glicose e de etanol em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) para 10 genótipos de batata-doce.

<b>Genótipos</b>	<b>Glicose (g L<sup>-1</sup>)</b>		<b>Etanol (g L<sup>-1</sup>)</b>	
Amanda	48,737	b	28,081	c
Bárbara	50,130	b	37,358	a
Beatriz	45,879	b	31,427	b
Carolina Vitória	36,947	d	39,888	a
Duda	35,021	d	37,945	a
Júlia	42,014	c	27,768	c
Marcela	50,484	b	39,142	a
PA 06	47,961	b	39,543	a
PA 26	51,248	b	33,130	b
Princesa	57,234	a	41,187	a
Médias	46,565		35,547	
C.V. (%)	4,64		5,64	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott ( $p = 0,05$ ). Dados do etanol foram transformados:  $\log(X)$ .

A média geral obtida neste trabalho para a concentração de glicose foi de 46,565 g L<sup>-1</sup>. O teste de Scott Knott formou 4 grupos para o parâmetro concentração de glicose, sendo

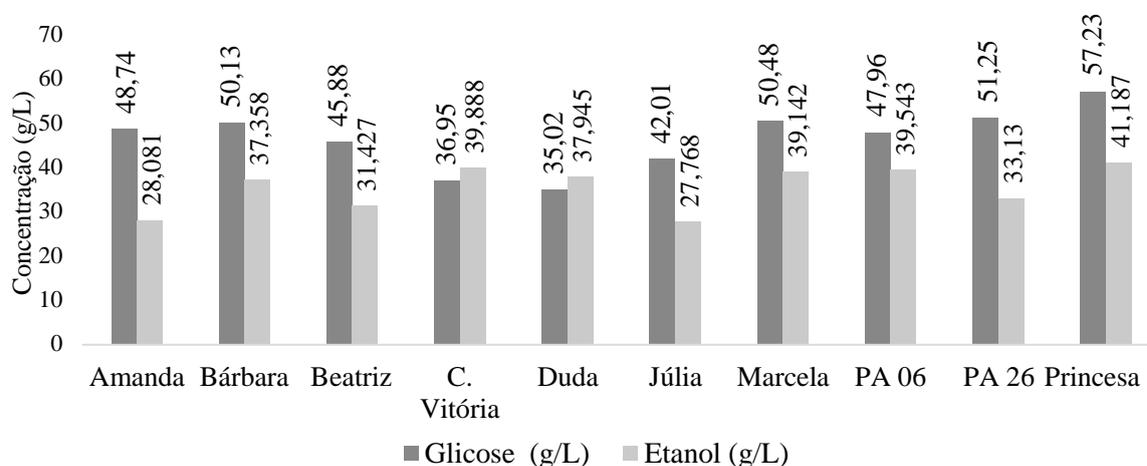
oprimeiro grupo, o que mais se destacou, composto unicamente pelo genótipo Princesa, que apresentou a maior concentração em relação às demais, que foi de 57,234 g L<sup>-1</sup>.

Já para a concentração de etanol, variou de 41,187 g L<sup>-1</sup> para Princesa e 27,768 g L<sup>-1</sup> para Júlia, sendo a média geral de 35,547 g L<sup>-1</sup> de etanol. O teste Scott Knott formou 3 grupos, sendo o primeiro composto por seis genótipos que se destacaram, sendo Princesa, Carolina Vitória, PA 06, Marcela, Duda e Bárbara.

Cinelli (2012), investigando o uso de resíduos da agroindústria do babaçu para produção de extrato enzimático e obtenção de etanol através de SSF, encontrou resultados de 41,63 g L<sup>-1</sup> de glicose em 24 horas de reação, sendo considerado alto se comparado com a enzima comercial Stargen™002 onde foi encontrado 16,91 g/L no mesmo período. Já Masiero (2012), quando avaliou a viabilidade da produção de etanol no Rio Grande do Sul em um modelo de micro-usinas descentralizadas, calculou que a concentração de etanol atingiria o máximo de 32,5 g L<sup>-1</sup> para eficiência de fermentação de 100% na cultura da batata-doce.

A Figura 6 mostra a comparação das concentrações de glicose e de etanol em CLAE, por genótipo, e quando analisada, nota-se que Princesa foi a que apresentou maiores valores para concentração de glicose e de etanol (g L<sup>-1</sup>), porém apresentou baixa conversão de glicose em etanol, e já o genótipo Duda que continha baixa concentração de glicose, teve a maior conversão de glicose em etanol. Isso se deve ao fato de que o genótipo Duda (PMG/UFT) foi melhorado com o objetivo de maior rendimento na produção de etanol, já a Princesa (EMBRAPA) foi desenvolvido com características para mesa.

Figura 6 - Valores médios da concentração de glicose e de etanol em dez genótipos de batata-doce através da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).



## 4.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO ETANOL DE BATATA-DOCE

De acordo com a Tabela 6, todos os resultados das análises físico-químicas do etanol obtido a partir das 8 genótipos e 2 genótipos de batata-doce referentes ao teor alcoólico, condutividade elétrica, cor, aspecto visual, massa específica e teor de hidrocarbonetos, ficaram entre os estabelecidos pela Resolução ANP nº 7, de 9 de fevereiro de 2011, para Etanol Hidratado Combustível (EHC) (ANP, 2011).

O teor alcoólico do etanol estipulado pela ANP é em relação à massa alcoólica, que foi estabelecida em 92,5 a 93,8% da massa para o EHC. Em relação a seu aspecto, o etanol precisa ser límpido e isento de impurezas, o que significa que o líquido deve ser uniforme e sem nenhum resíduo sólido em sua mistura. O método para definir essa qualidade é apenas visual, sem precisar submeter o álcool a outros testes. Esse mesmo método é utilizado para a certificação da qualidade de sua cor. Sendo o etanol hidratado uma mistura feita basicamente de álcool e água, o mesmo não possui coloração, sendo, portanto, transparente. Em relação à massa específica (densidade) do etanol hidratado, ela precisa estar entre 807,6 a 811,0 Kg/m<sup>3</sup>, levando-se em conta a temperatura de 20° C (NOVACANA, 2014).

Tabela 6 - Resultados da análise de qualidade do etanol de batata-doce e as especificações da ANP (2011) para EHC.

Genótipos	Teor Alcoólico (% massa)	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S m}^{-1}$ )	Cor	Aspecto Visual	Massa Específica ( $\text{kg/m}^3$ )	Acidez Total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Teor de Hidrocarbonetos (% volume)
Amanda	93,8	< 10	Incolor	LII	809,5	25	0
Bárbara	93,7	< 10	Incolor	LII	809,5	31	0
Beatriz	93,7	< 10	Incolor	LII	809,7	18	0
Carolina Vitória	93,8	< 10	Incolor	LII	809,6	18	0
Duda	93,8	< 10	Incolor	LII	809,0	27	0
Júlia	93,9	< 10	Incolor	LII	808,6	33	0
Marcela	93,7	< 10	Incolor	LII	808,9	28	0
BDI2007. PA06	93,8	< 10	Incolor	LII	808,7	21	0
BDI2007. PA26	93,8	< 10	Incolor	LII	808,5	21	0
Princesa	93,9	< 10	Incolor	LII	808,3	24	0
<b>ANP</b>	<b>92,5 a 93,8</b>	<b>Máx. 389</b>	<b>Incolor</b>	<b>LII</b>	<b>807,6 a 811,0</b>	<b>Máx. 30</b>	<b>Máx. 3</b>

LII = Límpido e Isento de Impurezas

Segundo Gonçalves et al. (2013), a condutividade elétrica e a acidez total têm sido utilizadas como indicativos do risco de corrosão que pode ser provocada por etanol de baixa qualidade, e estão relacionados à presença de ácidos e outros contaminantes provenientes dos processos de fermentação e destilação, sendo que a condutividade elétrica do etanol hidratado combustível (EHC) informa de modo qualitativo a presença de íons, como traços de sais minerais e substâncias orgânicas ionizáveis. A presença de algum traço significativo de cobre e cloretos no álcool pode comprometer a mistura combustível gasolina-álcool, pela formação de gomas e produtos corrosivos (ZARPELON, 2002).

Já a massa específica é um dos parâmetros mais utilizados para o controle de qualidade de etanol hidratado, uma vez que está diretamente relacionada ao teor de água contido no produto (GONÇALVEZ et al., 2013).

Ainda na Tabela 6 estão expressos os resultados em relação à acidez total, podendo-se notar que apresentou valores um pouco acima do estabelecido pela ANP em dois genótipos (Bárbara e Júlia), podendo ser devido a questões como a metodologia empregada ser muito dependente do discernimento prático do analista (velocidade de titulação, detecção do ponto final da titulação e agitação da amostra) (GONÇALVEZ et al., 2013) e pelo etanol ter tido necessidade de ser redistilado algumas vezes seguidas, o que pode ter ocasionado a sua contaminação. Porém em se tratando de valores próximos ao estabelecido pela ANP, não compromete a qualidade do etanol produzido.

Segundo Gonzaga (2012), a acidez total é um importante parâmetro de qualidade do etanol combustível e pode ser utilizada como parâmetro de controle para o tempo de fermentação, dado que um tempo maior de fermentação pode ocasionar a formação de altos teores de ácidos orgânicos (principalmente o ácido acético), que podem ocasionar corrosão nos motores dos carros e em outras partes como pistões, o qual afeta a vida útil de veículos automotivos.

Loiola (2011), com o intuito de avaliar a produtividade, o rendimento de etanol e suas características físico-químicas de clones de batata-doce desenvolvidos no Programa de Melhoramento Genético da UFT, concluiu que, para o teor alcóolico, a condutividade elétrica, a cor e o aspecto visuais de todas as amostras analisadas apresentaram concordância com as especificações da Resolução ANP nº 36/2005 (ANP, 2005), porém os valores obtidos para massa específica do etanol de batata-doce estavam acima do valor estabelecido pela resolução, que conforme Oliveira e Silveira (2007) pode ser atribuído à presença de impurezas provenientes do processo fermentativo tais como álcoois superiores, glicerol e íons os quais são típicos de álcoois ainda não refinados. Ainda foram analisadas amostras de etanol de cana-de-

açúcar obtido em três diferentes postos de combustíveis em Palmas-TO, observando que os mesmos encontravam de acordo com a ANP, exceto quanto ao teor alcoólico que apresentou valores superiores, o que, no entanto, não prejudica o uso do mesmo como combustível.

#### 4.6 CO-PRODUTO E SEU TEOR DE PROTEÍNA BRUTA (PB)

Analisando a Tabela 7 pode-se observar, quanto à produção de co-produto seco por tonelada de batata-doce, que Duda foi a que apresentou maior valor, sendo produzido 104,41 kg/ton raiz, e a média de todos os genótipos analisados foi de 94,29 kg/ton raiz. Já em estudo realizado por Tavares (2006), cada tonelada de batata-doce processada, produziu 150 kg de co-produto seco, utilizando o bioprocessamento convencional para produção de etanol a partir da batata-doce.

Tabela 7 - Produção de co-produto seco, teor e produtividade de proteína bruta do co-produto e soma da produtividade de proteína bruta do co-produto e da rama em genótipos de batata-doce.

<b>Genótipos</b>	<b>Produção de co-produto seco (kg ton raiz<sup>-1</sup>)</b>	<b>Teor de PB do co-produto (%)*</b>	<b>Produtividade PB co-produto (ton PB/ha)</b>	<b>PB Co-produto + PB rama (ton PB/ha)**</b>
Amanda	90,892	22,75	0,928	1,385
Barbara	88,792	23,19	0,745	0,978
Beatriz	90,414	13,25	0,492	0,848
Duda	104,416	17,56	1,148	1,498
Julia	90,934	18,63	0,658	0,917
Marcela	100,333	19,75	0,695	0,967
Média	94,297	18,76	0,944	1,265

\*Laboratório Arasolo

\*\*COSTA, 2015.

Quanto ao teor de proteína bruta (Tabela 7), Bárbara foi a que mais se destacou, apresentando 23,19% de PB, e Beatriz foi a que apresentou menor teor, com 13,25 %. A média de proteína bruta para os genótipos analisadas foi de 18,76%.

Castro et al. (2011) analisando o uso do soro de queijo na potencialização da produção convencional de etanol a partir de dois genótipos industriais de batata-doce (Amanda e Carolina Vitória), encontrou teores de proteína bruta do co-produto de 14,57% em média (para soro de queijo hidrolisado) e 12,90% (para soro de queijo sem hidrólise), sendo que a testemunha (processo convencional) apresentou teor de proteína bruta de 11,03%. Rodrigues e Rodrigues

(2012) caracterizaram o co-produto da produção de etanol da batata-doce a partir da sua composição química-bromatológica e encontraram o valor de 17,66% de proteína bruta, podendo ser considerado como fonte de alimento concentrado e energético. Já Parente (2010) encontrou o teor de 24,64% de proteína bruta (PB) em experimento para determinar o valor energético e nutricional do co-produto da produção de etanol a partir da batata-doce e a sua utilização em dietas para frangos de crescimento lento.

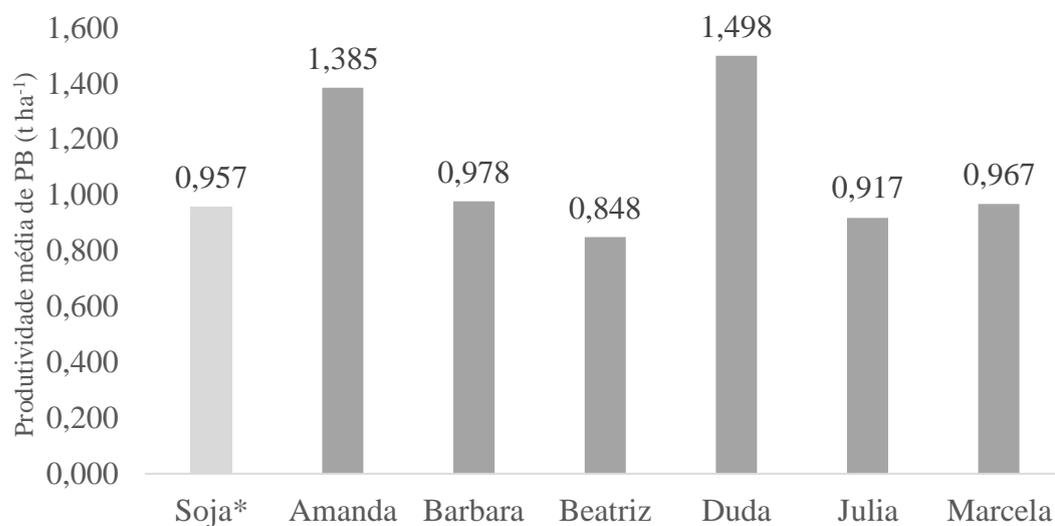
Amanda, em experimento realizado por Castro (2009), apresentou média de 176,2 L t<sup>-1</sup> para rendimento de etanol e 11,73% para teor de proteína bruta no co-produto, em processo convencional. Já o experimento atual, o mesmo genótipo apresentou média de 130,77 L t<sup>-1</sup> para rendimento de etanol e 22,75% para teor de proteína bruta no co-produto usando o método de SSF. Essa diferença pode ter sido causada pelo método SSF, que apresentou rendimento de etanol menor, porém maior teor de proteína bruta no co-produto, além de ter reduzido o gasto de vapor no bioprocessamento, o que melhorou a eficiência energética para produção de etanol. No entanto, o método SSF precisa ser padronizado e otimizado para melhorar a eficiência na produção de etanol e co-produto.

Já para a produtividade de proteína bruta do co-produto, ainda na Tabela 7, Duda foi a que apresentou maior valor (1,148 t ha<sup>-1</sup>), devido à sua alta produtividade de raiz, e sendo Beatriz, a que apresentou menor valor (0,492 t ha<sup>-1</sup>). Analisando a soma da produtividade da proteína bruta do co-produto com a produtividade da proteína bruta das ramas, Duda apresentou melhor resultado, com 1,498 t ha<sup>-1</sup>, seguida de Amanda com 1,385 t ha<sup>-1</sup> e por último Beatriz, com 0,848 t ha<sup>-1</sup>, sendo a média de todos os genótipos 1,265 t ha<sup>-1</sup>.

No Brasil, uma das fontes de proteína de origem vegetal utilizada na alimentação animal e humana é a soja. A cultura da soja produziu em média 2,88 t ha<sup>-1</sup> de grãos no Estado do Tocantins (CONAB, 2014) na safra de 2014/15, e segundo Gonçalves et al., (2014), o teor de proteína bruta dos grãos é de 33,24% em média, chegando ao valor de produtividade estimada de proteína bruta de 0,957 t ha<sup>-1</sup>.

Comparando-se a produtividade de proteína bruta por hectare da soja e de 6 genótipos de batata-doce (co-produto + ramas) (Figura 7), nota-se que somente 2 genótipos tiveram suas produtividades de proteína bruta menores que a soja, sendo Beatriz (11,39% menor) e Júlia (4,18% menor). Já os genótipos Amanda e Duda apresentaram valores consideravelmente maiores, sendo 30,91% e 36,12% superiores, respectivamente.

Figura 7 - Comparação da produtividade média de proteína bruta (t ha<sup>-1</sup>) entre a soja e seis genótipos de batata-doce (co-produto + rama).



França, R. G. 2015.

\*CONAB, 2015; Gonçalves et al., 2014

O valor de mercado do co-produto seco da batata-doce é por volta de R\$ 0,90/kg, o que gerará renda extra ao usineiro. Estes resultados agregam valor ao co-produto e às ramas da batata-doce, que poderão ser usados para a produção de rações e alimentos.

## 5 CONCLUSÕES

O método de SSF é eficiente e o tempo da fermentação é de em média 22 horas e 03 minutos, o que representa uma redução de 8,3% se comparado ao método tradicional para produção de etanol de batata-doce.

Todos os genótipos analisados apresentam rendimento de etanol significativo ( $L t^{-1}raiz$ ).

Júlia é o genótipo que apresenta a maior taxa de eficiência da fermentação (92,2 %).

O etanol produzido apresenta valores dentro do estabelecidos pela Resolução ANP nº 7/2011 para as características físico-químicas.

O genótipo Duda apresenta produtividade de proteína bruta no co-produto+ramas de  $1,498 t ha^{-1}$ , sendo 36,12% a mais que a soja, o que evidencia o potencial econômico desse co-produto.

## REFERÊNCIAS

ABH. **Anuário Brasileiro de Hortaliças**. Gazeta: Santa Cruz do Sul, 2012.

ALTINTAS, M.M., ULGEN, K.O., KIRDAR, B., ONSAN, Z.I., OLIVER, S.G. Optimal substrate feeding policy for fed-batch cultures of *S. cerevisiae* expressing biofunctional fusion protein displaying amyolytic activities. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 33, p. 262–269, 2003.

ALVIM, F. A. L. S. **Fermentação etanólica conjunta da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), mandioca (*Manihot esculenta*) e milho (*Zea mays*)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) –Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2013.

ANCIÃES, A. et al. **Avaliação tecnológica do álcool etílico**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico –CNPQ. Brasília, 1981.

ANFAVEA. **Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores**. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. São Paulo, 2009.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2005. Resolução ANP nº 36 de 06 de dezembro de 2005. Especificação do Álcool Etílico Anidro e do Álcool Etílico Hidratado. 2005.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2011. Resolução ANP nº 7 de 09 de fevereiro de 2011. Especificação do Álcool Etílico Anidro e do Álcool Etílico Hidratado. 2011.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2014. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em: 14 ago. 2014.

ARAÚJO, N. Q.; CASTRO, H.F.; SALLES FILHO, M.; LEAL, J.L.S.; ESTEVES, A.M.L.; COSTA, F. A.; ARAUJO, I.M.C.; SALLES, N.G. **Batata-doce: parâmetros preliminares na tecnologia de produção de etanol**. (S.L.), 11p. 1978.

AUGUSTINI, D. e JUNIOR, H. E. Produção de álcool de mandioca a partir de hidrólise enzimática natural. Pato Branco: *Synergismus scyentifica*, 2007.

AUSTIN, D.F. The taxonomy, evolution and genetic diversity of sweet potatoes and related wild species, in: Exploration, maintenance and utilization of sweet potato genetic resources, in: **Proceedings of the First Planning Conference**, Lima, Peru, International Potato Center (CIP), p. 27–59. 1988.

BARRERA, Paulo. **Batata-doce: uma das doze mais importantes culturas do mundo**. São Paulo: Ícone, 1986.

BASTOS, V.D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38. 2007.

BEZERRA, V.S.; PEREIRA, R.G.F.A.; CARVALHO, V.D.; VILELA, E.R. Raízes de mandioca minimamente processadas: efeito do branqueamento na qualidade e na conservação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.3, p.564-575. 2002.

BOTHAST, R. J; SCHLICHER, M. A. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.67, n.1, p.19-25. 2005.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

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

CAMACHO, I. A. O. **Caracterização dos resíduos do processamento de mandioca para produção de bio-etanol e sua utilização na alimentação de aves**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

CAO, Y.; TIAN, H.; YAO, K.; YUAN, Y. Simultaneous saccharification and fermentation of sweet potato powder for the production of ethanol under conditions of very high gravity. **Frontiers of Chemical Science and Engineering**, v. 5, p. 318–324, 2011.

CARDONA, C. A.; SÁNCHEZ, Ó. J. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. **Bioresource Technology**, v.99, n.13, p.5270-5295. 2007.

CARVALHO, V. D. P. **Rendimento e qualidade do etanol neutro obtido a partir da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**. 2011. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

CASTRO, I. P. M. de. **Uso do soro de queijo na potencialização da produção convencional de etanol a partir de duas cultivares industriais de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

CASTRO, I. P. M.; ALVIM, T. C.; SANTANA, W. R.; CARVALHO, V. D. P.; SILVEIRA, M. A. Efeito da adição de soro de queijo no processo de obtenção de etanol a partir de batata-doce. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 5, p. 980 -986. 2011.

CEREDA, M. P. **Hidrólise enzimática do amido de mandioca para elaboração de álcool**. 2005. Disponível em: [www.abam.com.br/revista13/ceteagro.php](http://www.abam.com.br/revista13/ceteagro.php). Acesso em: 19 ago. 2014.

CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v.1. Fundação Cargill:Campinas. 2001.

CEREDA, M.; VILPOUX, O. F. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v. 3. Fundação Cargill: São Paulo. 2003.

CINELLI, B. A. **Produção de etanol a partir da fermentação simultânea à hidrólise do amido granular de resíduo agroindustrial**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 12 mai. 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento - Superintendência Regional de Mato Grosso. **Processo (simplificado) de produção de etanol de milho** - Destilaria/Usina FLEX - Abordagem Descritiva de um Novo Potencial. 2012. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_03\\_28\\_12\\_11\\_19\\_007a-12\\_-\\_proc\\_simplificado\\_-\\_prod\\_etanol\\_-\\_milho-\\_mt.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_03_28_12_11_19_007a-12_-_proc_simplificado_-_prod_etanol_-_milho-_mt.pdf). Acesso em: 27 ago. 2014.

COSTA, D. M. **Avaliação de cultivares de batata-doce quanto a produtividade, composição e aproveitamento das ramas visando a produção de etanol**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

DANTAS, F. F.; SILVEIRA M. A.; SOUZA, F. R.; BARROS, M. S.; TAVARES, I. B. Tratamento anaeróbico do vinhoto gerado na produção de etanol a partir da batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] em reator UASB. In: I CONGRESSO CIENTÍFICO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS, 2005, Palmas. **Anais**.

DORNELLES, A. S.; RODRIGUES, S. Fermentação alcoólica de caldo-de-cana utilizando grãos de kefir. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.3, p.386-390, 2006.

DUVERNAY, W.H.; CHINNA, M.S.; YENCHO, G.C. Hydrolysis and fermentation of sweet potatoes for production of fermentable sugars and ethanol. **Industrial Crops and Products**, 42, pp. 527–537, 2013.

FAO. **United Nations Food and Agricultural Organization**. 2013. Disponível em: <http://www.fao.org.br>. Acesso em: 13 abr. 2014.

FERNANDES, J.B.K.; CARNEIRO, D.J.; SAKAMURA, N.K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.646-653, 2000.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 412 p, 2003.

GELMINI, G. A. **Cultura da batata-doce**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 1992.

GONÇALVES, L. C. et al. Composição química e propriedades tecnológicas de duas cultivares de soja. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, n. 1, p. 33-40, 2014.

GONÇALVEZ, M. A.; GONZAGA, F. B.; FRAGA, I. C.S.; RIBEIRO, C.M.; SOBRAL, S. P.; REGO, E.C.P.; SANTANA, E.B.; OLIVEIRA, L. M.; SILVA, V. F.; LEAL, R. V. P.; FILHO, D. M. E. S.; SIQUEIRA, J. R. R.; BARBOSA, T. P.; RODRIGUES, J. M.; CUNHA, V. S. Avaliação de laboratórios brasileiros na determinação de alguns parâmetros de qualidade de biocombustíveis. **Química Nova**, v. 36, n. 3, p. 393-399, 2013.

GONZAGA, F. B.; GONÇALVES, M. A.; FRAGA, I. C. S.; RIBEIRO, C. M. Avaliação de método volumétrico-potenciométrico para determinação da acidez total de etanol combustível por comparação inter laboratorial. In: 35ª REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 2012, Águas de Lindóia. **Anais**.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 07 out. 2014.

JIN, Y.; FANG, Y.; ZHANG, G.; ZHOU, L.; ZHAO, H. Comparison of ethanol production performance in 10 varieties of sweet potato at different growth stages. **Acta Ecologica**, v. 44, p. 33 e 37, 2012.

KOBAYASHI, F., SAWADA, T., NAKAMURA, Y., OHNAGA, M., GODLIVING, M., USHIYAMA, T. Saccharification and alcohol fermentation in starch solution of steam exploded potato. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. 69, 177–189. 1998.

KOHLHEPP, G. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. Estud. av., São Paulo, v.24, n.68, 2010.

LÁZARI, T. M. **Avaliação das características agronômicas e físico-químicas de clones de batata-doce, suas correlações e implicações no rendimento de etanol**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

LOIOLA, L. V. **Avaliação de clones de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) quanto a produção e qualidade do etanol nas condições de Palmas-TO**. 2011. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

MACHADO, C. M. M.; ABREU, F. R. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. **Revista de Política Agrícola**, Brasília: MAPA/SPA, v. 15, n. 3, p. 64-82. 2006.

MARTINS, E. C. A. **Variabilidade fenotípica e divergência genética em genótipos de batata-doce no Estado do Tocantins**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

- MARTINS, L.P. **Avaliação da resistência ao mal-do-pé (*Plenodomus destruens*) em clones de batata-doce destinados a indústria de etanol.** 2013. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.
- MASIERO, S. S. **Micro-usinas de etanol de batata-doce: viabilidade econômica e técnica.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MELLO, M. G. **Biomassa: Energia dos Trópicos em Minas Gerais.** Belo Horizonte: LabMidia/FAFICH, 2001.
- MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C.A.; SILVA, J.B.C. **A cultura da batata-doce.** Brasília: Embrapa-SPI, Instruções Técnicas, 94p., 1995.
- MIYAKE, B. K. **On the nature of the sugars found in the tubers of sweet potatoes.**1915. Disponível em: [www.jbc.org](http://www.jbc.org). Por CAPES/MEC – UFPI. 2011.
- MUSSATTO, S.; DRAGONE, G.; GUIMARÃES, P.; SILVA, J.; CARNEIRO, L. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. **Biotechnology Advances**, v. 28, p.817–830, 2010.
- NOVACANA. **Controle de Qualidade: Especificações do Etanol.** 2014. Disponível em: <http://www.novacana.com/etanol/control-qualidade/>. Acesso em: 07 ago. 2014.
- OLIVEIRA, A. P.; SILVA, J. E. L.; PEREIRA, W. E.; BARBOSA, L. J. N. Produção de batata-doce e teor de amido nas raízes em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 747-751, Oct./Dec., 2005.
- OLIVEIRA, H. S.; SILVEIRA, M. A. Avaliação e quantificação do álcool obtido de dez clones de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam) para implantação de unidade piloto em pequena escala. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFT, Palmas. **Anais.** 2007.
- OLIVEIRA, L. M.; SERRA, J. C. V.; OLIVEIRA, K. B. M. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas. **Geo Ambiente Online**, n22. 2014.
- OLIVEIRA, R.H.A.; SUDO, J.T.C.; RESENDE, M.M. Estudo dos processos de sacarificação, fermentação e destilação de cascas e pontas de mandioca no processo de obtenção de aguardente. In: VIII ENCONTRO INTERNO E XII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. **Anais.** 2008.
- PARENTE, I. P. **Características nutricionais e utilização do resíduo de batata-doce em dietas de frangos de crescimento lento.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Tropical) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

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

PEREIRA, A. F. B.; GUIMARÃES, P. M. R.; TEIXEIRA, J. A.; DOMINGUES, L. Robust industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains for very high gravity bio-ethanol fermentations. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 112 (2): 130–136, 2011.

PNA. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 110 p., 2010.

RIBEIRO, L. S. **Relação entre o perfil molecular de material genético amplificado por técnica rapd e a produtividade de amido e raiz de dez cultivares de batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) utilizadas na produção de etanol**. 2009. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros e Marques Ed. Eletrônica, 302 p., 2004.

RODRIGUES, L. G. S. M. e RODRIGUES, F. M. **Composição química-bromatológica do resíduo de biocombustível de batata-doce (*Ipomoea batatas* (Lam))**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 234. 2012.

ROJAS, J. B. U.; VERDEGEM, M. C. J. Effects of the protein: energy ratio in isocaloric dietson the growth of *Cichlasoma managuense* (Günther 1869). **Aquaculture, Research**, v. 25, n. 5, p. 631-637, 1994.

SALLA, D. A.; FURLANETO, F. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D. Análise energética das operações de cultivo da mandioca no Médio Paranapanema, Estado de São Paulo (*Manihot esculenta* Crantz). In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MANDIOCA, 2007, Paranavaí. **Anais**. Paranavaí: CERAT, 2007.

SANTANA, N. B. **Eficiência da hidrólise de amido de mandioca por diferentes fontes de enzimas e rendimento da fermentação alcoólica para produção de etanol**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SANTANA, W. R.; SILVEIRA, M. A.; SOUZA, F. R.; GOUVÊA, G. R. S. R.; FRANÇA, R. G.; NASCIMENTO, I. R.; MOMENTÉ, V. G.; SANTOS, W.F. Avaliação do teor de amido em genótipos de batata-doce destinados a indústria de etanol em Palmas-TO. **Horticultura Brasileira** 31: S2063 –S2070. 2014.

SANTOS, J. R. A.; SOUTO-MAJOR, A.M.; GOUVEIA, E. R. **Comparação entre processos em SHF e em SSF de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol por *saccharomyces cerevisiae***. Pernambuco, Recife: 2010.

SAVELL, J. W. **Introduction to HACCP principles in meatplants.** 1995. Disponível em: <http://savellj.tamu.edu/HACCPintro.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2014.

SILVA, E.P.S. **Especificação e Certificação do Etanol Brasileiro: A Contribuição do Paradigma Multicritério.** 2008. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Administração). Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, Rio de Janeiro.

SILVA, F.B. **Avaliação e seleção de clones de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) quanto a produtividade e capacidade de bioconversão de amido em etanol. Palmas-TO.** 2010a.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHAES, J. S. Cultura da batata-doce. In: CEREDA, M. P. (coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americano.** São Paulo: Fundação Cargil, v.2, cap. 22. (Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas). 2002.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Cultura da batata-doce. Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americano.** São Paulo: Fundação Cargil, v.2, cap.22. 2008.

SILVA, J. O. V. **Comparação entre metodologias visando obtenção de maior rendimento de etanol a partir da batata-doce *Ipomoea batatas* (L.) Lam.], em Palmas-TO.** 2010c. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

SILVA, L. G. **Composição bromatológica do resíduo de bicomcombustível de batata-doce [*Ipomoea batatas* (Lam.)] submetido à diferentes técnicas e tempos de armazenamento.** 2010b. Dissertação. (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais,** Campina Grande, v.4, n.1, p 71-78. 2002.

SILVEIRA, M. A. **Batata-doce: uma nova alternativa para a produção de etanol.** In: Instituto Euvaldo Lodi. Álcool combustível. Brasília: IEL, p.109-122. 2008.

SILVEIRA, M. A. et al. **A cultura da batata-doce como fonte de matéria-prima para o etanol.** Boletim Técnico UFT.Palmas-TO. 2014.

SILVEIRA, M. A. et al. Resistência de clones de batata-doce coletados no Estado do Tocantins a insetos de solo e nematóides causadores de galhas. **Horticultura Brasileira.** v. 20, n. 2, jul. 2002.

SILVEIRA, M.A.; AZEVEDO, S.M.; MALUF, W.R.; CAMPOS, V.P.; MOMENTÉ, V.G. Palmas e Canuanã: novas cultivares de batata-doce resistentes aos nematóides do gênero *Meloidogyne*. **Horticultura Brasileira,** v.15, p.122-123, 1997.

SILVEIRA, M. A.; DIAS, L. E.; ALVIM, T. C. **A cultura de bata-doce como fonte de matéria prima para etanol.** Boletim Técnico. LASPER – UFT, Palmas. 2008.

SILVEIRA, M. A.; DIAS, L. E.; ALVIM, T. C.; TAVARES, I. B.; SANTANA, W. R.; SOUZA, F. R. **A cultura da batata-doce como fonte de matéria-prima para produção de Álcool**. Boletim Técnico, UFT- Palmas. 2007.

SOARES, K. T.; MELO, A. S.; MATIAS, E. C. **A cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2002. 26 p. (EMEPA PB. Documentos, 41).

SOUZA, Z. M., JÚNIOR, J. M., PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Ciência Rural**, 2010.

SRICHUWONG, S.; ORIKASA, T.; MATSUKI, J.; SHIINA, T.; KOBAYASHI, T.; TOKUYASU, K. Sweet potato having a low temperature-gelatinizing starch as a promising feedstock for bioethanol production. **Biomass and Bioenergy**, v. 39, p. 120 e 127, 2012.

SRISUWAN, S., SIHACHAKR, D., YAKOVLEV, S.S. The origin and evolution of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) and its wild relatives through the cytogenetic approaches. **Plant Science**, Elsevier, Paris, 171:424-433. 2006.

SUMERLY, R.; SUMERLY, H.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F. **Hidrólise do amido**. Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas, v. 3, p. 377 - 448. Fundação Cargill: 2002.

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic material for ethanol production: a review. **Bioresource Technology** v. 83, p. 1 - 11. 2002.

SURMELY, R.H, ALVAREZ, H. CEREDA, M.P. e VILPOUX, O. F. **Hidrólise do Amido**. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas, v. 3, p. 379-448. 2003.

TAPARELLI, J. R. **Modificação química do amido de mandioca e estudo de sua aplicação em revestimento de couché**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - UNICAMP, Campinas.

TAVARES, I. B. **Desenvolvimento de cultivares de batata-doce e técnicas de bioprocessamento visando a implantação de mini-usinas de álcool combustível como alternativa para pequenas e médias propriedades na região norte**. 2006. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

TEIXEIRA, A.S. **Alimentos e alimentação dos animais**. Vol. 1. Lavras: UFLA DESA/UFMG. 2001.

THUMÉ, M. A. **Produtividade e absorção de nutrientes de três cultivares de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] selecionadas para a produção de etanol, em função de diferentes doses de N, P e K aplicados no solo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

VENTURINI FILHO, W. G.; MENDES, B. P. Fermentação alcoólica de raízes tropicais. In: FRANCO, C. M. F.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL,

M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas: Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003, v.3, p.530-576.

WANG, H. The breeding of Sweet Potato for human consumption. In: VILLAREAL, R.L.; GRIGGS, T.D. **Sweet potato: Proceedings of the first international Symposium**. Shanhua: Taiwan, 1982. p.297-311.

ZARPELON, F. **As especificações do álcool focadas para o mercado mundial**. 2002. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/catalogo/REC000fxgfctv02wyiv80soht9hcb5cn10.html>. Acesso em: 15 jun. 2014.

ZHANG, L., CHEN, Q., JIN, Y.L., XUE, H.L., GUAN, J.F., WANG, Z.Y., ZHAO, H. Energy-saving direct ethanol production from viscosity reduction mash of sweet potato at very high gravity (VHG). **Fuel Process Technology**, v. 91, p. 1845-1850, 2010.

ZHANG, L.; ZHAO, H.; GAN, M.; JIN, Y.; GAO, X.; CHEN, Q.; GUAN, J. E WANG, Z. Application of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) from viscosity reducing of raw sweet potato for bioethanol production at laboratory, pilot and industrial scales. **Bioresource technology**, v. 102, p. 4573–4579, 2011.

ZISKA, L.H.; RUNION, G.B.; TOMECEK, M.; PRIOR, S.A.; TORBET, H.A; SICHER, R. An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. **Biomassa and Bioenergy**. p.1-6. Auburn, USA, 3 3, 2009.