

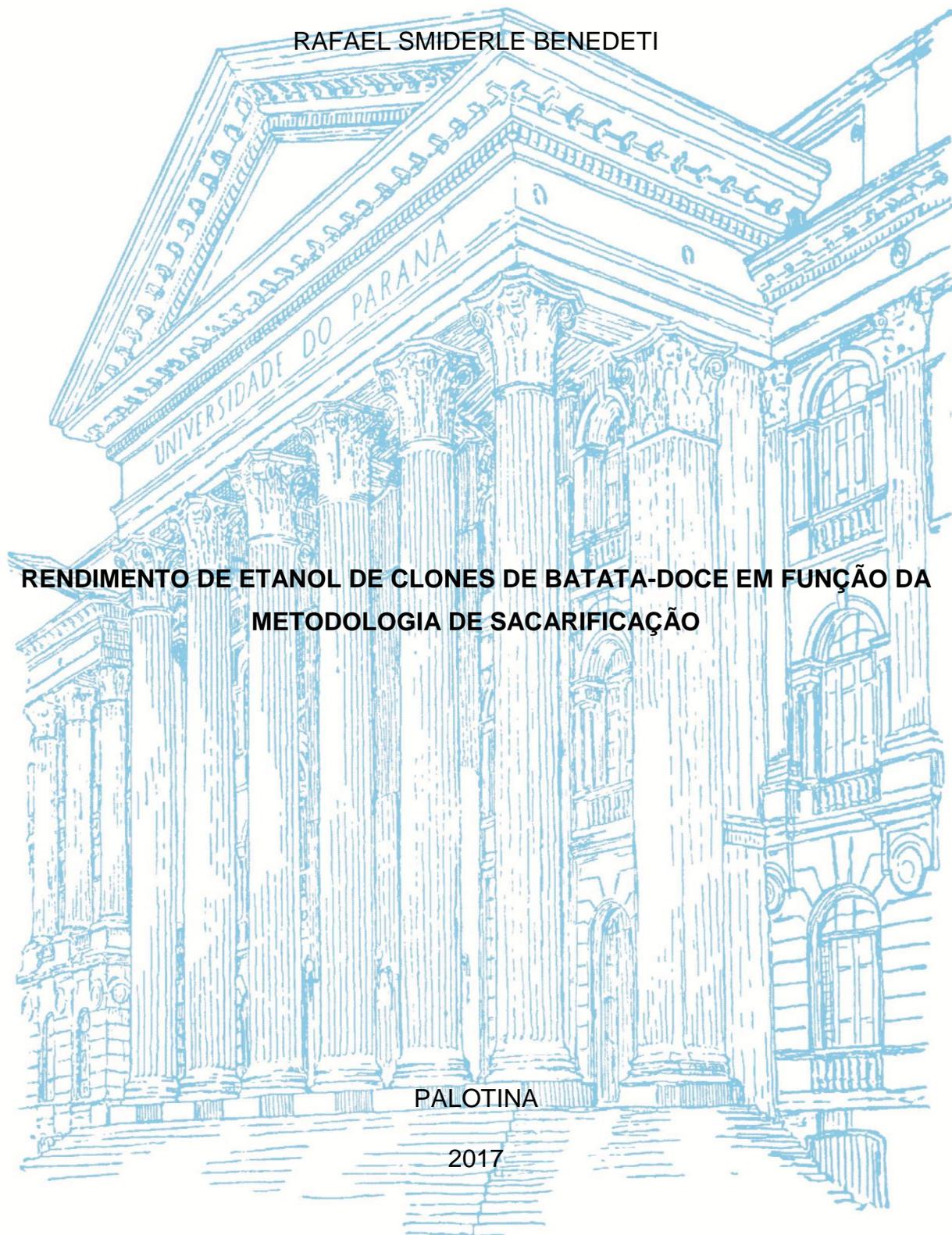
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL SMIDERLE BENEDETI

**RENDIMENTO DE ETANOL DE CLONES DE BATATA-DOCE EM FUNÇÃO DA  
METODOLOGIA DE SACARIFICAÇÃO**

PALOTINA

2017



RAFAEL SMIDERLE BENEDETI

RENDIMENTO DE ETANOL DE CLONES DE BATATA-DOCE EM FUNÇÃO DA  
METODOLOGIA DE SACARIFICAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito para disciplina  
TCC II do curso de graduação em  
Agronomia, Setor Palotina da Universidade  
Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Aline Marchese

PALOTINA

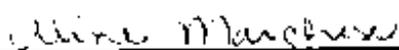
2017

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**RAFAEL SMIDERLE BENEDETI**

### **RENDIMENTO DE ETANOL DE CLONES DE BATATA-DOCE EM FUNÇÃO DA METODOLOGIA DE SACARIFICAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, Curso Agronomia, Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_

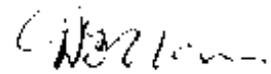
Prof. Dr.ª Aline Marchese

Orientadora – Departamento de Ciências Agronômicas - UFPR Setor Palotina.

  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Vilson Luis Kunz

Departamento de Ciências Agronômicas - UFPR Setor Palotina.

  
\_\_\_\_\_

Dr.ª Maria Suzana Vial Pozzan  
UFPR Setor Palotina

Palotina, 07 de julho de 2017

## RESUMO

A batata-doce, *Ipomoea batatas* L., é uma hortaliça rústica, de fácil cultivo, alta tolerância à seca e baixo custo de produção. É uma planta onde todas suas partes são aproveitáveis, podendo ser usada na alimentação humana, animal e na produção de biocombustíveis. Embora seja uma das culturas que apresenta as maiores taxas de conversão em etanol por unidade de área, é comum encontrar no Brasil baixas produtividades, ocasionado principalmente pela utilização de material genético pouco adaptado, consequentes da falta de pesquisa focadas em selecionar cultivares adaptadas e métodos de conversão em etanol adequados. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a o rendimento de etanol em clones de batata-doce em função de diferentes metodologias de sacarificação. O ensaio foi conduzido em DBC, utilizando-se esquema fatorial 3 x 2, sendo 3 genótipos de batata-doce avaliados (IAPAR 70, Roxa de Itapoá e Roxa de Pato Branco) em 2 diferentes processos de sacarificação (ácida e enzimática). Com base nos resultados obtidos, não foram detectadas interação entre os fatores avaliados. A hidrólise enzimática apresentou maior rendimento em etanol quando comparado a hidrolise ácida, considerando os pHs das soluções sem correção anterior ao processo fermentativo. Os genótipos IAPAR 70, Roxa de Pato Branco e Roxa de Itapoá foram considerados promissores para a produção de etanol, visto os rendimentos obtidos na conversão da matéria fresca em biocombustível, entretanto, os tratos culturais devem ser otimizados a fim de alavancar a produtividade no campo, aumentando o rendimento de etanol por área.

Palavras-chave: hidrolise ácida, hidrolise enzimática, fermentação

## ABSTRACT

Sweet potato, *Ipomoea batatas* L., is a rustic vegetable, easy to grow, high tolerance to drought and low incoming production. All parts of the plant can be used, as human or animal food and for biofuel production. Sweet potato is one of the crops with the highest conversion rates in ethanol per area, however, it is common to find low yields in Brazil, caused mainly by the poorly adapted genetic material, due to lack of research focused on selecting adapted cultivars and methods of cultivation. The goal of this work was to evaluate ethanol yield in sweet potato clones using different saccharification methodologies. The assay was conducted in DBC, in 3 x 2 factorial scheme, with 3 sweet potato genotypes (IAPAR 70, Roxa de Itapoá and Roxa de Pato Branco) and 2 different saccharification processes (acid and enzymatic). Based on the results, there was no interaction between the evaluated factors detected. The enzymatic hydrolysis resulted in higher ethanol yield compared to acid hydrolysis, considering the pH of the solutions without correction before the fermentation process. The genotypes IAPAR 70, Roxa de Pato Branco and Roxa de Itapoá were considered promising for the ethanol production based on the yields obtained in the conversion of fresh matter to biofuels. However, the cultural treatments should be optimized in order to a greater field productivity, increasing the ethanol yield by area.

Key words: Acid hydrolysis, enzymatic hydrolysis, fermentation.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	07
2 OBJETIVO .....	10
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

## 1. INTRODUÇÃO REFERENCIADA

A batata-doce, *Ipomoea batatas* L., é uma hortaliça rústica, de fácil cultivo, ampla adaptabilidade, alta tolerância à seca e baixo custo de produção. Muito popular é cultivada em praticamente todo o país, principalmente na agricultura familiar. É uma planta onde todas suas partes são aproveitáveis, sendo usada na alimentação humana e animal (bovinos, aves e suínos). As raízes, além de serem utilizadas na alimentação humana, podem ser utilizadas na alimentação de gado leiteiro, tanto verdes (in natura), cozidas, na forma de raspas ou na forma de silagem, juntamente com as ramas, sendo a planta inteira uma ótima opção como forrageira. Além disso, as raízes também são uma importante alternativa na produção de biocombustíveis (etanol), além de produzirem amido, macarrão, doces, sobremesas industrializadas e farinha (MOMENTÉ et al., 2004).

É uma cultura de fundamental importância social e econômica, principalmente nas regiões mais pobres, onde se predomina a agricultura familiar, mas ainda assim é pouco valorizada no Brasil (RITSCHER et al., 2007), sendo a sétima cultura alimentícia mais importante no mundo e a quarta hortaliça de maior importância no Brasil (IBGE 2015).

Apesar de apresentar elevado potencial produtivo, é comum encontrar no Brasil baixas produtividades, ocasionadas pelo uso de baixa tecnologia de tratamentos culturais. Além disso, utilização de material genético degenerado e/ou ultrapassado, susceptíveis às pragas e doenças, o que é favorecido pelo fato da cultura ser propagada comercialmente por meio de ramas, perpetua a degenerescência dos clones a cada geração, o que também responde em baixas produtividades (MIRANDA et al., 1984).

Em praticamente todo o país encontram-se cultivares regionais com características próprias, apresentando grande variabilidade genética. A variabilidade genética na espécie é a base para o melhoramento vegetal, onde os genótipos podem apresentar respostas diferentes a resistência à pragas, necessidade nutricional, doenças e outros, o que é de fundamental importância no desenvolvimento de novas cultivares, acordando com as características e necessidades das regiões às quais serão cultivadas (GONÇALVES NETO et al., 2011).

### **1.1. Composição química e utilização comercial de batata-doce**

A batata-doce apresenta as raízes com 16 a 40% de massa seca, sendo considerada um alimento energético, com 75 a 90% de carboidratos compostos por açúcar, celulose, pectina e hemicelulose (BOUWKAMP, 1985). Além de ser utilizada na alimentação humana, as raízes podem ser utilizadas na indústria, como matéria-prima para a produção de doces, pães, álcool e amido de alta qualidade, empregado na fabricação de tecidos, papel, cosméticos, adesivos e glicose (MIRANDA et al, 1984).

O amido de batata-doce pode também ser utilizado como substrato para a produção de álcool e de outros produtos industriais fermentados (MOMENTÉ et al.,2004).

### **1.2. O etanol de batata-doce**

O etanol é uma fonte alternativa de energia, que pode ser produzida a partir de varias fontes de biomassa, tais como cana-de-açúcar, que é a mais usual no Brasil, e também por origem de outras culturas, por exemplo, as amiláceas como batata-doce e mandioca, dentre outras (CARVALHO, 2001). No entanto, dentre todas estas fontes de matérias-primas citadas, a batata-doce talvez seja a cultura que apresente o menor número de pesquisadores no Brasil envolvidos no seu estudo, seja para fins de consumo in natura, ou para indústria (SOUZA et al., 2005).

Entre os fatores que contribuem para destacar as características favoráveis de batata-doce estão: não apresentar período de entressafra, ciclo curto de produção (4 a 6 meses), rusticidade, adaptação às condições tropicais, possibilidade de produção em condições de solo de baixa à media fertilidade, e principalmente, baixo custo de produção. A possibilidade de colheita em períodos de 4 a 6 meses, permite aos produtores melhor aproveitamento das oportunidades em função da demanda de mercado, podendo assim fazer ajustes alternativos dentro das unidades de produção (SOUZA et al., 2005).

A principal matéria prima para a produção de etanol no Brasil, a cana-de-açúcar, produz em média 100 t ha<sup>-1</sup> de colmos e 90 L de etanol por tonelada, atingindo a produção de 9.000 L ha<sup>-1</sup> de etanol, em ciclo de 12 meses (BNDES, 2008). Neste contexto, a batata-doce pode produzir cerca de 180 litros por

tonelada (CASTRO et al., 2008), sendo que seu potencial de produção por unidade de área está diretamente relacionado à produtividade da mesma.

Araújo et al. (1978), no final da década de 70, utilizaram a batata-doce como matéria prima para a produção de etanol obtendo rendimento médio de 158 litros de etanol por tonelada de raízes. Porém, observaram que a baixa produtividade de raízes obtida, de 11 a 13 t ha<sup>-1</sup>, foi o fator mais restritivo para a recomendação desta matéria-prima para a produção de etanol no Brasil.

Se bem manejada, a cultura pode até aumentar o rendimento. Em outras palavras (SOUZA et al., 2005). Gonçalves neto (2011) avaliando genótipos de batata-doce, verificaram produtividades de 95 e 98 t ha<sup>-1</sup> em clones experimentais na região sul do estado de Minas Gerais. A exemplo dos valores obtidos pelos autores, o aumento do rendimento da cultura com a utilização de manejos adequados e clones adaptados às condições de cultivo já é uma realidade.

Além do rendimento em etanol, cabe salientar que para cada tonelada de raiz processada, obtém-se cerca de 300 quilos de resíduo (com 16% de teores de proteína). Além disso, o custo de produção de álcool de batata-doce é menor do que o produto de cana-de-açúcar (CASTRO et al., 2008).

Comparando os ciclos de produção, a batata-doce com seu curto ciclo reprodutivo (4 a 6 meses) poderia ultrapassar a cana-de-açúcar (12 a 18 meses) e a mandioca (10 a 20 meses) em sua produtividade de combustível por unidade de área. Entretanto, investimentos em pesquisas voltadas para a melhoria das tecnologias de produção ainda se fazem necessárias (SOUZA et al., 2005).

Além de pesquisas realizadas a fim de otimizar a produção a campo, também deve ser foco tecnologias de conversão da matéria prima em etanol, sendo que os processos de hidrólise ou sacarificação, bem como os processos fermentativos, devem ser melhores estudados a fim de obter melhores conversões do produto extraído do campo em energia.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Geral**

- Avaliar a o rendimento de etanol em clones de batata-doce em função de diferentes metodologias de sacarificação

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar a metodologia de sacarificação que resulta em maior rendimento de etanol para os clones IAPAR 70, Roxa de Itapoá e Roxa de Pato Branco de batata-doce.
- Determinar o rendimento alcoólico dos clones IAPAR 70, Roxa de Itapoá e Roxa de Pato Branco, por unidade de área aos 150 dias de cultivo.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Obtenção dos genótipos

Os ensaios foram conduzidos na propriedade rural do município de Perola-PR, (altitude de 416 m, 23°46.685'S e 53°42.108'O). O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho e o clima é classificado como Cfa (subtropical úmido) sem estação seca definida, com temperatura média elevada, em torno de 23° C (IAPAR).

O plantio foi realizado dia 27/12/2016. Foram realizadas calagem e adubação de plantio, de acordo com a análise de solo (Tabela 1), afim de melhorar a qualidade do solo para um melhor desenvolvimento da cultura. Foram realizados capinas manuais durante todo o desenvolvimento da cultura, afim de evitar competições com outras plantas daninhas presente na área. Houve a necessidade de instalar um sistema de irrigação no local, devido à época de plantio, coincidindo com um período quente e seco. A irrigação era ligada em períodos mais frescos do dia como no período matutino ou final da tarde.

TABELA 1: RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLO PARA AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS DE INTERESSE PARA O CULTIVO DE BATATA-DOCE.

Unidade	Elemento	Teor
	pH CaCl <sub>2</sub>	4,70
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Alumínio (Al <sup>3+</sup> )	0,09
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Acidez Potencial (H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> )	2,95
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cálcio + Magnésio (Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> )	1,23
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	0,84
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	0,39
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Potássio (K <sup>+</sup> )	0,09
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Soma de Bases (SB)	1,32
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	4,27
g dm <sup>-3</sup>	Carbono Orgânico (C)	4,25
g dm <sup>-3</sup>	Matéria Orgânica (MO)	7,31
mg dm <sup>-3</sup>	Fósforo (P)	3,08
%	Saturação por Bases (V%)	30,91

Foram cultivados 3 clones comerciais de batata-doce, IAPAR 70, Roxa de Itapoá e Roxa de Pato Branco, sendo as matrizes cedidas pela Estação Experimental de Palotina – PR. O delineamento experimental utilizado para obtenção de raízes foi de blocos casualizados com 4 repetições, totalizando 12 parcelas experimentais, constituídas de 6 plantas.

Segundo o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), a variedade IAPAR 70 apresenta ramas longas e vigorosas, apresentando mais de 2 metros de comprimento. As raízes são caracterizadas de formato alongado, com película rosada, polpa crua branca e amarelada quando cozida. A variedade Roxa de Pato Branco apresenta folhas arroxeadas, grandes quantidades de ramas e as raízes de coloração creme tanto a polpa quanto a casca. Já a variedade Roxa de Itapoá, apresenta uma boa arquitetura de planta com folhas de coloração verde claro, as raízes classificadas como formato fusiforme de coloração roxa intenso desde a casca até a cor da polpa.

A colheita foi realizada 150 dias após o plantio, e então foi determinada a produtividade geral de raízes por hectare, aferindo-se o peso total de raízes de cada parcela experimental.

### 3.2. Produção de etanol

Os genótipos colhidos foram levados ao Laboratório de Estudos Hídricos e Ambientais (LBEHA), da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, onde as batatas foram lavadas, descascadas e trituradas. De cada material foram retirados uma alíquota de 25 gramas, para cada hidrólise do amido- enzimática e acida.

Para a hidrólise enzimática, foram misturadas as 25 gramas de batata, 75 ml de água, e aquecidas a temperatura de 90° e pH entre 6,0 e 6,5, foram então adicionados 0,2 ml da enzima Termamyl ( $\alpha$ -amilase), permanecendo 1,5 horas em banho quente. Após esse tempo a amostra contendo a primeira enzima foi resfriada e teve ajustado o pH com HCl (2N) para 4,5 (pH ideal para atuação da segunda enzima envolvida na digestão enzimática). No passo seguinte, foram adicionados 0,2 ml da enzima AMG 300 (Glucoamilase) e aquecido a 70 °C por 120 minutos em banho quente

Para a hidrólise acida foram adicionados a alíquota de 25 gramas de batata doce, 75 ml de ácido clorídrico (HCl) concentrado em 1%. As amostras foram autoclavadas a 121°C por 10 minutos.

Tanto as amostras provenientes da hidrólise acida, quanto enzimáticas, foram resfriadas e tiveram seus sobrenadantes retirados. A solução obtida teve o °brix aferido, e adicionou-se 0,075 gramas da levedura *Saccharomyces cerevisiae* por

amostra, sendo essas deixadas em banho quente em 32°C por 20 horas para a fermentação.

Após 20 horas, o conteúdo das amostras foi destilado com o uso de um ebulliometro, utilizando 50 ml do mosto fermentado, determinando-se assim a temperatura de ebulição de cada amostra, sendo estas corrigidas com a temperatura de ebulição da água realizada no mesmo equipamento (99,5°C) com auxílio de uma régua referencial. Assim as temperaturas de ebulição foram transformadas em percentual alcoólico, Gay Lussac (°GL).

### 3.3. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as medias comparadas pelo teste de tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2008).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância para as médias obtidas na avaliação de genótipos de batata-doce submetidos a sacarificação ácida e enzimática (Tabela 2), pode-se observar que não houve diferenças significativas para a interação entre os fatores estudados para todas as características avaliadas, sendo os fatores discutidos separadamente.

**Tabela 2:** ANÁLISE DE VARIÂNCIA E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DA INTERAÇÃO ENTRE TIPOS DE HIDROLISE E GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS DE SÓLIDOS SOLÚVEIS ( $^{\circ}$ Brix), PH DO MEIO FERMENTATIVO, CONCENTRAÇÃO DE ÁLCOOL ( $^{\circ}$ GL), PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ( $L t^{-1}$  DE BATATA), PRODUTIVIDADE DE BATATA-DOCE ( $t ha^{-1}$ ) E PRODUTIVIDADE DE ETANOL ( $L ha^{-1}$ ).

Tratamentos	Brix	pH	GL	Produção ( $L t^{-1}$ )	Prod. Batata ( $t ha^{-1}$ )	Prod. Etanol ( $L ha^{-1}$ )
<b>Hidrolise</b>						
Acida	8,53 a	2,08 b	1,59 b	31,75 b	10,94 a	338,69 b
Enzimática	9,01 a	4,40 a	6,75 a	135,08 b	10,94 a	1473,80 a
<b>Genótipo</b>						
IAPAR 70	8,92 a	3,23 a	3,71 a	74,10 a	11,51 a	858,67 a
Roxa de Itapoá	8,66 a	3,25 a	4,08 a	81,60 a	9,18 b	869,49 a
Roxa de Pato Branco	8,73 a	3,23 a	4,73 a	94,55 a	12,14 a	990,56 a
CV (%)	6,30	1,93	22,87	22,87	9,05	22,66
<b>Teste F</b>						
Hidrolise	*	*	*	*	n.s	*
Genótipo	n.s	n.s	n.s	n.s	*	n.s
Hidrolise x Genótipo	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

- MÉDIAS SEGUIDAS DA MESMA LETRA NA COLUNA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE.

- n.s : NÃO SIGNIFICATIVO

- \* SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE

De uma forma geral, para todos os genótipos analisados, a sacarificação enzimática resultou em maiores médias de produção de álcool por tonelada de raízes batata-doce, sendo estes resultados obtidos a partir da concentração alcoólica da solução obtida posterior ao processo fermentativo (Tabela 2). Enquanto no processo de sacarificação ácida foram obtidos em torno de 31,75 litros por tonelada de raiz, o processo enzimático resultou em uma media estatisticamente superior de 135,08  $L t^{-1}$ .

Embora o meio a ser fermentado apresentasse concentrações diferentes estatisticamente de sólidos solúveis (°BRIX), esta diferença não seria suficientemente capaz de resultar em uma diferença tão elevada na produção alcoólica. A sacarificação enzimática apresentou 9,01 °Brix, valor estatisticamente superior em 5,62% a sacarificação ácida, que apresentou 8,53°Brix. Entretanto, o meio enzimático produziu uma quantidade 324% superior de concentração alcoólica, valores muito acima das proporções anteriormente detectadas.

A diferença estatística entre as produções de etanol em função da hidrólise podem ser devidas ao pH que o mosto apresentava durante processo fermentativo. Enquanto a hidrólise enzimática apresentava um pH de 4,40 em média, as amostras submetidas a sacarificação ácida apresentavam um pH de 2,08, sendo as médias significativamente diferentes de acordo com o teste aplicado, o que influenciou a atividade da levedura utilizada para o processo fermentativo.

Santos (2015), comparando os métodos de hidrólise enzimática e ácida, obteve produções similares de etanol para diferentes de genótipos de batata-doce. Entretanto, durante os processos metodológicos, os pH das amostras de ambos tipos de sacarificação foram ajustados para 5,0 na etapa anterior a fermentação.

A levedura *Sacharomyces cerevisiae*, de acordo com Souza (2009), atua em processos fermentativos e, de forma ótima, em meios com pH na faixa de 4 a 5. Assim, o pH do meio obtido pelo processo enzimático encontrava-se dentro do patamar ótimo. Souza et al. (2014), estudando o comportamento de diferentes cepas de *S. cerevisiae* em diferentes pHs, observaram que em meios com pH entre 4 a 6, as leveduras se organizavam de forma uniforme, formando aglomerados cilíndricos, enquanto que em pH abaixo de 3, ocorria a desfloculação total das leveduras no meio de cultivo, havendo o impedimento fermentativo pelas mesmas.

Assim, pode-se afirmar que devido ao pH das amostras no processo ácido, a levedura apresentou queda drástica no rendimento fermentativo, o que resultou em uma solução final com menor concentração alcoólica.

Quando se comparam os genótipos no processo ácido de sacarificação, é possível perceber diferentes respostas dos clones para a produção de álcool (Tabela 3).

**Tabela 3:** MÉDIAS DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE SUBMETIDAS À HIDROLISE ÁCIDA PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS DE SÓLIDOS SOLÚVEIS (°Brix), pH DO MEIO FERMENTATIVO, CONCENTRAÇÃO DE ÁLCOOL (°GL), PRODUÇÃO DE ÁLCOOL (L t<sup>-1</sup> DE BATATA) E PRODUTIVIDADE DE ETANOL (L ha<sup>-1</sup>).

Genótipos	Brix	pH	GL	Prod. (L t <sup>-1</sup> )	Prod. Etanol (L ha <sup>-1</sup> )
IAPAR 70	8,62 a	2,10 a	0,80 b	16,00 b	195,38 a
Roxa de Itapoá	8,17 a	2,07 a	2,42 a	48,25 a	444,36 a
Roxa de Pato Branco	8,80 a	2,07 a	1,55 ab	31,00 ab	376,31 a
CV (%)	5,30	2,30	36,31	36,31	34,90

\*MÉDIAS SEGUIDAS DA MESMA LETRA NA COLUNA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE.

O clone Roxa de Itapoá obteve melhor desempenho na produção de álcool por tonelada de raiz quando comparado ao IAPAR 70, sendo as médias obtidas de 48,25 e 16,00 L t<sup>-1</sup>, respectivamente, médias as quais não diferiram estatisticamente dos 31,00 L t<sup>-1</sup> obtidos pelo clone Roxa de Pato Branco.

Embora apresentasse um melhor rendimento por peso de batata, o clone Roxa de Itapoá obteve o menor rendimento produtivo no campo colhido aos 150 dias após o plantio, com média de produção de raízes de 9,18 toneladas (Tabela 2). Mesmo com baixo rendimento produtivo e médias não diferentes significativamente para as 3 cultivares testadas, pode-se notar que a cultivar Roxa de Itapoá apresentou rendimento de etanol por unidade de área 127% superior ao clone IAPAR 70, sendo a produção de etanol dos genótipos de 444,36 e 195,38 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Mesmo com resultados abaixo do esperado, estes dados podem ser comparados com outros trabalhos. Rizollo (2014) testando o genótipo Amélia em hidrólise ácida, obteve 14,94 litros de etanol por tonelada de raiz, em processo fermentativo de 24 horas, resultado semelhante ao menor valor obtido por hidrólise ácida com 22 horas de fermentação neste trabalho, 16,00 L t<sup>-1</sup>, da cultivar IAPAR 70.

É importante salientar que o tempo de fermentação também é uma variável que influencia o rendimento de etanol por volume da matéria-prima. Santos (2015), comparando diferentes períodos de fermentação alcoólica da levedura *S. cerevisiae* (1, 3 e 5 dias), concluiu que quanto maior o período de fermentação, maior a concentração de álcool da solução, obtendo em seu estudo os melhores rendimentos alcoólicos com 5 dias de fermentação pela levedura, tanto em hidrólise enzimática, quanto ácida.

Analisando-se os rendimentos das cultivares avaliadas no processo de sacarificação enzimática, não ocorreram diferenças significativas entre os genótipos para qualquer dos parâmetros avaliados (Tabela 4).

**Tabela 4:** MÉDIAS DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE SUBMETIDAS À HIDROLISE ENZIMÁTICA PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS DE SÓLIDOS SOLÚVEIS (°Brix), pH DO MEIO FERMENTATIVO, CONCENTRAÇÃO DE ÁLCOOL (°GL), PRODUÇÃO DE ÁLCOOL (L t<sup>-1</sup> DE BATATA) E PRODUTIVIDADE DE ETANOL (L ha<sup>-1</sup>).

Genótipos	Brix	pH	GL	Prod. (L t <sup>-1</sup> )	Prod. Etanol (L ha <sup>-1</sup> )
IAPAR 70	9,22 a	4,37 a	6,61 a	132,20 a	1521,95 a
Roxa de Itapoá	9,15 a	4,44 a	7,04 a	140,85 a	1294,62 a
Roxa de Pato Branco	8,67 a	4,40 a	6,61 a	132,20 a	1604,80 a
CV (%)	7,44	1,63	16,44	16,44	17,98

*\*MÉDIAS SEGUIDAS DA MESMA LETRA NA COLUNA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE.*

Para o rendimento em função do peso de batata, as cultivares foram estatisticamente semelhantes, apresentando médias de 132,20 L t<sup>-1</sup> para os genótipos IAPAR 70 e Roxa de Pato Branco e 1340,85 L t<sup>-1</sup> para a cultivar Roxa de Itapoá. Mesmo apresentando diferenças significativas em produtividade (Tabela 2), as cultivares não diferiram quanto a produção de etanol por unidade de área, sendo as médias 1604,80, 1521,95 e 1294,62 L ha<sup>-1</sup> para os genótipos Roxa de Pato Branco, IAPAR 70 e Roxa de Itapoá.

Estes rendimentos corroboram com médias obtidas por autores em outros trabalhos realizados anteriormente. Santana et al. (2013), testando 20 genótipos, obtiveram médias de rendimento de etanol variando de 89,26 L t<sup>-1</sup> de raiz a 181,65 L t<sup>-1</sup>. Martins et al. (2012), dentre 50 genótipos testados, obtiveram como maior rendimento absoluto a média de 167,97 L t<sup>-1</sup> de raiz.

Sendo assim, os genótipos revelaram-se potencialmente competitivos para essa produção de etanol. Os genótipos de batata-doce considerados aptos para esta finalidade, segundo Silveira (2008), tem como base a produção de 1580 L de etanol por tonelada de raízes processadas. Este valor está condizente com os obtidos no trabalho. Entretanto, há inúmeros fatores que podem ser otimizados durante o processo de sacarificação e fermentação que podem resultar em maiores rendimentos por volume de matéria prima processada.

Comparando-se os genótipos com a principal matéria prima para a produção de etanol no Brasil, a cana-de-açúcar, que possui grandes investimentos tecnológicos resultantes em elevada produtividade, produz em média 100 t ha<sup>-1</sup> de colmos e 90 L de etanol por tonelada, atingindo a produção de 9.000 L ha<sup>-1</sup> de etanol, em ciclo de 12 meses (Bioetanol de cana de açúcar, 2008). Neste trabalho, chegamos a produção de 1604 l ha<sup>-1</sup>, em 150 dias de ciclo, resultado da baixa produtividade de raízes colhidas no campo, expectativa inferior ao que se esperava para estas cultivares. Segundo o IAPAR, a expectativa de produção da cultivar IAPAR 70 aos 6,5 meses de cultivo é de 40 t ha<sup>-1</sup>, 3,48 vezes mais do que o obtido neste trabalho (Tabela 2). Neste sentido, com uma produtividade de 40 toneladas, o clone teria produção de 5288 L ha<sup>-1</sup> em um ciclo, e de 9762 L ha<sup>-1</sup> em um ano de cultivo, valor superior ao rendimento da cana-de-açúcar em um ano de cultivo.

Outros trabalhos realizados utilizando clones com maior produtividade e aptidão à produção etanólica, geraram entre 7.078,4 e 15.484,0 L ha<sup>-1</sup> correspondentes à amplitude de produtividade de 44,8 e 98,0 t ha<sup>-1</sup> de raízes, respectivamente (GONÇALVES NETO et al., 2011). Neste sentido, pode-se perceber a superioridade de produção de etanol dos genótipos de batata-doce considerados aptos em comparação à cana-de-açúcar.

Além do rendimento em etanol, cabe salientar que para cada tonelada de raiz processada, obtém-se cerca de 300 quilos de resíduo (com 16% de teores de proteína), que pode ser utilizado para produção de farinha e de ração animal. Além disso, o custo de produção de álcool de batata-doce é menos da metade do que o produto de cana-de-açúcar. A batata-doce também pode produzir álcool classificado como fino, que é um produto de alto valor agregado destinado à fabricação de bebidas, cosméticos, tintas e remédios, utilizados em vários países como a Bélgica e o Japão (CASTRO et al., 2008).

Assim, a batata-doce torna-se uma potencial matéria prima para a produção de etanol, podendo ser utilizada inclusive na entressafra da cana-de-açúcar. Entretanto, pesquisas no sentido de aumentar a eficiência da sacarificação e fermentação para obtenção do álcool, bem como investimento em tecnologias afim de alavancar a produtividade no campo devem ser realizadas para que esta cultura realmente se torne uma potencial produtora de etanol no Brasil.

## 5. CONCLUSÃO

Os genótipos IAPAR 70, Roxa de Pato Branco e Roxa de Itapoá são considerados promissores para a produção de etanol, visto os rendimentos obtidos na conversão da matéria fresca em biocombustível.

A hidrólise enzimática se mostrou o processo com maior rendimento em etanol quando comparado a hidrólise ácida, considerando os pHs das soluções sem correção anterior ao processo fermentativo.

Para a viabilidade de produção de etanol das cultivares estudadas, devem ser otimizados os tratos culturais e épocas de colheita afim de alavancar a produtividade no campo, uma vez que o rendimento de raízes por área é diretamente proporcional ao volume de etanol obtido após os processos de hidrólise e fermentação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, N. Q. CASTRO, H. F.; LEAL, J. L. S. et al. **Batata-doce: parâmetros preliminares na tecnologia de produção de etanol.** (S.L.), 1978. 11 p.

BNDES. **Bioetanol de cana de açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316p. Disponível em: [www.cgex.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=5126](http://www.cgex.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=5126). Acesso em: 22 de junho de 2017.

BOUWKAMP, J. C. **Sweet potato products: a natural resource for the tropics.** Florida: CRC Press, 1985.

CARVALHO, J.C.M. **Biotecnologia Industrial: Engenharia Bioquímica.** Editora Edgar Blucher Ltda., 1º ed. v. 2. cap. 9 p.193-204, 2001.

CASTRO, L. A. S.; EMYGDIO, B. M.; ABRANTES, V. L.; ROCHA, N. E. M. **Acessos de batata-doce do banco ativo de germoplasma da Embrapa Clima Temperado, com potencial de produção de biocombustível.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 26 p.

FERREIRA, D.F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

GONÇALVES NETO, A. C.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; GONÇALVES, R. J. S.; SILVA, V. F.; LASMAR, A. Aptidões de genótipos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.11, p.1513-1520, nov. 2011

IBGE: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal 2013-2014.** 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2014/default.shtm>>. Acesso em: 30 de outubro de 2016.

**Instituto agrônomo do Paraná.** IAPAR 70. Disponível em:

<[http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/batatadoce70.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/batatadoce70.pdf)>. Acessado em: 30 de maio de 2017.

MARTINS ECA; PELUZIO JM; COIMBRA RR; JUNIOR WPO. Variabilidade fenotípica e divergência genética em clones de batata-doce no estado do Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, 2012.

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. **Cultivo da batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]**. Brasília: Embrapa, 1984. 7p.

MOMENTÉ, V.V.; RODRIGUES, S.C.S.; TAVARES, I.B.; SILVEIRA, M.A.; SANTANA, W.R. Desenvolvimento de cultivares de batata-doce no estado do Tocantins, visando à produção de álcool, como fonte alternativa de energia para as condições tropicais. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, jul. 2004a. Suplemento. CD-Rom

RITSCHER, P.S.; LOPES, C.A.; HUAMÁN, Z.; FERREIRA, M.E.; FRANÇA, F.H.; MENEZES, J.E.; TEIXEIRA, D.M.C.; TORRES, A.C.; CHARCHAR, J.M.; THOMAZELLI, L. **Organização do banco ativo de germoplasma de batata-doce: situação atual e perspectivas**. 1999. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/batatadoce.pdf>>. Acesso em: 23 março de 2007.

RIZZOLO, J. A. **Estudos para o aproveitamento biotecnológico de variedades de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] na fermentação alcoólica para a produção de etanol combustível e aguardente**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2014.

SANTANA, W. R.; MARTINS, L. P.; SILVEIRA, M. A.; SANTOS, M. F.; GONÇALVES, R. C.; SOUZA, F. R.; RESPLANDES, G. R. S.; LIMA, M. M. Identificação agronômica de genótipos de batata-doce em banco de germoplasma para fins industriais de etanol carburante. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.7, n.1, p.31-34, mar. 2013.

SANTOS, E. G. **Produção de álcool a partir de batata-doce com variações nas condições de fermentação**. Dissertação de mestrado. UNICENTRO, 2015.

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

SOUZA JUNIOR, A. J. L.; PRAÇA, E. F.; GRANGEIRO, L. C.; Composição centesimal de raízes de cultivares de batata-doce colhidas aos quatro meses. In. Congresso Brasileiro de Olericultura, 2005. **Anais...**, 2005.

SOUZA, C. R. **Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de *S. cerevisiae*.** Tese de Doutorado. USP: São Paulo, 2009.

SOUZA, M. D. B.; CECILILLO, M. S. A.; SANTOS, L. D.; RIBEIRO, E. J. Estudo da influência da temperatura, ph e agitação nas características flocculantes de *Saccharomyces cerevisiae*. In. XIX Jornada em Engenharia Química, UFU, 2014. **Anais...** Universidade Federal de Uberlândia, 2014.