

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Cicero Urbanetto Nogueira

BATATA-DOCE IRRIGADA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

**Santa Maria, RS
2017**

Cicero Urbanetto Nogueira

BATATA-DOCE IRRIGADA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia Agroambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Mazutti

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Nogueira, Cicero Urbanetto
Batata-doce irrigada para a produção de etanol /
Cicero Urbanetto Nogueira.- 2017.
82 p.; 30 cm

Orientador: Marcio Antonio Mazutti
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2017

1. Manejo de água 2. Lâminas de irrigação 3. Irrigação
por gotejamento 4. Ipomoea batatas (L.) Lam. Farinha de
batata-doce 5. Matéria-prima de etanol I. Mazutti,
Marcio Antonio II. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Cicero Urbanetto Nogueira. A reprodução de partes ou de todo o trabalho poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Cruz e Souza, 155, Bairro Camobi, Santa Maria, RS. CEP. 97110-220

Fone: (0xx)55 32261776/996311147. E-mail: ciceronogueira4@gmail.com

Cicero Urbanetto Nogueira

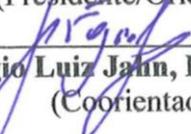
BATATA-DOCE IRRIGADA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia Agroambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Aprovado em 29 de setembro de 2017:



Marcio Antonio Mazutti, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Sérgio Luiz Jahn, Dr. (UFSM)
(Coorientador)



Leila Picolli da Silva, Dr^a. (UFSM)



Márcio Oliveira Hornes, Dr. (IFFAR – Campus São Vicente)



Marlene Terezinha Lovatto, Dr^a. (Colégio Politécnico-UFSM)



Richard Alberto Rodríguez Padrón, Dr. (Universidad de la Republica – Uruguai)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

A minha querida esposa Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira, que de maneira muito especial, foi amiga, companheira e, sendo meu porto-seguro nos momentos difíceis.

Aos meus amados filhos Thiciano e Tharsilo, pelo carinho e por entenderem e colaborarem para a realização de mais esse sonho.

Os amo.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua Graça, que nos ilumina todo dia e nos da esperança.

À Universidade Federal de Santa Maria, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade oferecida.

Ao professor orientador Marcio Antonio Mazutti que com sabedoria, ensinamento e paciência me orientou para mais esta oportunidade.

Ao professor coorientador Sérgio Luiz Jahn, pelos ensinamentos, atenção, amizade e profissionalismo.

A direção e aos colegas do Colégio Politécnico da UFSM, que contribuíram para a realização deste trabalho.

A grande contribuição da Cooperativa Escola dos estudantes do Colégio Politécnico da UFSM Ltda (CESPOL).

A toda a equipe do Laboratório de Energias Alternativas, da Usina Piloto de Álcool e do Setor de Mecanização do Colégio Politécnico da UFSM.

A toda a equipe de trabalho da área experimental, pela ajuda e amizade, meu carinho e gratidão.

Ao incentivo e apoio dos familiares, principalmente da minha esposa Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira pela incansável ajuda e pelos filhos Thiciano Camilo de Moraes Nogueira e Tharsilo Camilo de Moraes Nogueira pela compreensão, o amor e colaborarem para a realização desse sonho.

A família do colega Richard Alberto Rodríguez Padrón, pela ajuda, amizade e carinho.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram no início, meio ou fim desta etapa vencida, meu muito obrigado!

RESUMO

BATATA-DOCE IRRIGADA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

AUTOR: Cicero Urbanetto Nogueira
ORIENTADOR: Dr. Marcio Antonio Mazutti

A batata-doce é uma raiz amilácea de elevado potencial para uso na produção de bioetanol. No entanto, sua produtividade está intrinsecamente ligada aos fatores ambientais e de manejo, onde se destacam a disponibilidade de água nos períodos de cultivo e a época de colheita, que foram objeto do presente estudo. Dois ensaios de produção (2013-2014 e 2014-2015) foram instalados na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria-RS, com a variedade BRS Cuia (RNC 27.315). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial, onde os fatores foram as lâminas de irrigação e as épocas de colheita. Os tratamentos consistiram em aplicação de lâminas de irrigação suplementar de 25%, 50%, 75% e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) e o tratamento testemunha (sem irrigação). As épocas de colheitas foram: 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio. A unidade experimental foi formada por 4 m de largura e 5 m de comprimento (20 m²), área total de 400 m², sem as plantas de bordadura e o espaçamento entre as linhas foi de um metro com distância entre as plantas dentro de cada fila de 0,40 m. O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura, conforme a metodologia proposta pela FAO. O sistema de irrigação utilizado foi localizado por gotejamento, com espaçamento entre cada emissor de 0,2 m e vazão de 0,8 L h⁻¹ e a frequência de irrigação foi a cada sete dias. Foi realizada a análise química e física do solo. O monitoramento da umidade do solo foi pela reflectometria no domínio do tempo (TDR). Avaliaram-se os seguintes parâmetros: o rendimento; o comprimento; o diâmetro; a classificação das raízes; os teores de amido, da proteína e da amilose; e a produção de etanol em escala de laboratório, em escala piloto e em processo convencional em escala piloto. A cultura da batata-doce foi influenciada pelas diferentes lâminas de irrigação aplicadas e as épocas de colheitas, com aumento no teor de amido e decréscimo no rendimento. A melhor época de colheita foi de 120 a 150 dias após o plantio. Nas condições desse estudo a cultura da batata-doce não requereu a irrigação. O rendimento máximo de etanol obtido em escala piloto foi 195 kg t⁻¹ de sólidos, 125 g L⁻¹ de farinha de batata-doce, 4% em peso de enzimas e 36°C, com este rendimento foi possível produzir 2.654 kg de etanol por hectare. Pela rusticidade da cultura, custo de manejo, ciclo curto e produção de amido, a batata-doce demonstrou ser excelente matéria-prima para a produção de etanol por sacarificação e fermentação simultâneas, sendo alternativa para a diversificação da matriz energética.

Palavras-chave: Manejo de água. Lâminas de irrigação. Irrigação por gotejamento. *Ipomoea batatas* (L.) Lam. Farinha de batata-doce. Matéria-prima de etanol. Processo SSF. Biocombustível.

ABSTRACT

BATATA-DOCE IRRIGADA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

AUTHOR: CICERO URBANETTO NOGUEIRA

ADVISOR: MARCIO ANTONIO MAZUTTI

Sweet potato is an amylaceous root of high potential for use in the production of bioethanol. However, its productivity is intrinsically linked to the environmental and management factors, in which the availability of water in the growing periods and the harvesting period, which were the object of the present study, stand out. Two production trials (2013-2014 and 2014-2015) were installed in the experimental area of the Polytechnic College of the Federal University of Santa Maria-RS, with the variety BRS Cuia (RNC 27.315). The experimental design was a randomized complete block design, with four replications, in a factorial scheme, where the factors were the irrigation slides and the harvesting times. The treatments consisted in the application of 25%, 50%, 75% and 100% of crop evapotranspiration (ET_c) irrigation slides and the control treatment (without irrigation). Harvest times were: 90, 120, 150, 180 and 210 days after planting. The experimental unit was formed by 4 m wide and 5 m long (20 m²), total area of 400 m², without the border plants and the spacing between the lines was one meter with distance between plants within each row of 0.40 m. Irrigation management was based on crop evapotranspiration, according to the methodology proposed by FAO. The irrigation system used was located drip between spacing each emitter and 0.2 m flow of 0.8 L h⁻¹, and the frequency of irrigation was every seven days. It was carried out chemical analysis and physical soil. The monitoring of soil moisture was the time domain reflectometry (TDR). The following parameters were evaluated: the yield; the length; the diameter; root classification; the levels of starch, protein and amylose; and laboratory-scale ethanol production on pilot scale and on a pilot scale conventional process. The sweet potato crop was influenced by the different irrigation slides applied and the harvest times, with increase in starch content and decrease in yield. The best harvest season was 120 to 150 days after planting. Under the conditions of this study the sweet potato crop did not require irrigation. The maximum yield of ethanol obtained on a pilot scale was 195 kg t⁻¹ of solids, 125 g L⁻¹ of sweet potato flour, 4% by weight of enzymes and 36°C, with this yield it was possible to produce 2,654 kg of ethanol per hectare. Due to the rusticity of the crop, management cost, short cycle and starch production, sweet potato proved to be an excellent raw material for the production of ethanol by simultaneous saccharification and fermentation, being an alternative for the energy matrix diversification.

Keywords: Water management. Irrigation blades. Drip irrigation. *Ipomoea potatoes* (L.) Lam. Sweet potato flour. Ethanol feedstock. SSF process. Biofuel.

LISTA DE TABELAS

APRESENTAÇÃO

Tabela 1 – Diferentes matérias-primas, com o ciclo, o rendimento e o custo para produzir etanol.	25
Tabela 2 – Resultados de rendimento e análise bromatológica da raiz em massa seca (amido total (TS), a proteína bruta (PB) e a amilose (A)) na cultura da batata-doce em função das épocas de colheitas e lâminas de irrigação.	64

ARTIGO 1

Table 1. Soil attributes of the experimental area.	38
Table 2. Evapotranspiration, irrigation depth, and number of irrigations in the experimental periods.	40
Table 3. Accumulated rainfall (mm) in the experimental period.....	40
Table 4. Water productivity and irrigation water productivity of sweet potato as a function of the harvest dates and irrigation depths.	43
Table 5. Total starch and crude protein (CP) in dry matter of sweet potato according to harvest dates and irrigation depths.	45

ARTIGO 2

Table 1. Matrix of the results obtained in the CCRD for evaluation the influence of process variables on ethanol production in laboratory bioreactor.	57
Table 2. Regression models for each one of responses of the CCRD and ANOVA.	57

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

- Figura 1 – Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b).27
Figura 2 – Fluxograma de produção de etanol a partir de fontes amiláceas e sacarídeas.32

ARTIGO 1

- Figure 1.** Climograph of experimental area during the 2013-2014 and 2014-2015 periods. ...37
Figure 2. Yield response surface of sweet potato according to the harvest dates and irrigation depths.....41
Figure 3. (a) The diameter and (b) length of sweet potato root according to harvest dates and irrigation depths.....44
Figure 4. Classification of (a) industrial and (b) commercial roots of sweet potato according to harvest dates and irrigation depths.45

ARTIGO 2

- Figure 1.** Desirability profiles expressing the influence of the process variables on ethanol yield, conversion and mass of ethanol per batch obtained in laboratory bioreactor.58
Figure 2. Kinetics of ethanol yield for experiments carried out in laboratory and pilot bioreactors for conventional and simultaneous saccharification and fermentation processes at optimized condition of the CCRD.59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	CONTEXTO HISTÓRICO SOBRE A BATATA-DOCE	14
2.2	CARACTERÍSTICAS E FASES FISIOLÓGICAS DA CULTURA	15
2.3	A CULTURA DA BATATA-DOCE	16
2.4	PRODUTIVIDADES DA BATATA-DOCE	18
2.5	A IRRIGAÇÃO	21
2.5.1	Irrigação em batata-doce	22
2.6	O ÁLCOOL ETÍLICO OU ETANOL	23
2.7	IMPORTÂNCIA E USO O DA BATATA-DOCE PARA PRODUZIR ETANOL	26
2.8	VIABILIDADE DE MINIUSINAS PARA PRODUZIR ETANOL	30
3	ARTIGO 1 – IRRIGATION DEPTH AND HARVEST DATE IN SWEET POTATO FOR CONVERSION TO BIOFUELS	35
3.1	ABSTRACT	35
3.2	INTRODUCTION	35
3.3	MATERIALS AND METHODS	36
3.4	RESULTS AND DISCUSSION	39
3.5	CONCLUSIONS	46
3.6	CONFLICT OF INTEREST	46
3.7	ACKNOWLEDGEMENTS	47
	REFERENCES	47
4	ARTIGO 2 – SCALE-UP OF PROCESS FOR SIMULTANEOUS ENZYMATIC HYDROLYSIS AND FERMENTATION FOR ETHANOL PRODUCTION FROM SWEET POTATO FLOUR	50
4.1	ABSTRACT	50
4.2	INTRODUCTION	50
4.3	MATERIALS AND METHODS	51
4.3.1	Materials	51
4.3.2	Raw material	51
4.3.3	Microorganism and inoculum preparation	52
4.3.4	Ethanol production	52
4.3.4.1	<i>Laboratory scale</i>	52
4.3.4.2	<i>Pilot scale</i>	53
4.3.4.3	<i>Conventional process in pilot scale</i>	53
4.3.5	Statistical analysis	53
4.4	RESULTS AND DISCUSSION	53
4.5	CONCLUSIONS	55
4.6	CONFLICT OF INTEREST	55
4.7	ACKNOWLEDGEMENTS	55
	REFERENCES	55
5	DISCUSSÃO	60
6	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] é uma cultura disseminada nas regiões tropicais e subtropicais, de certa relevância econômica e de ampla aceitação popular, sendo cultivada, na maioria das vezes, por pequenos produtores rurais em sistemas agrícolas, por sua reduzida utilização de insumos (SOUZA, 2000). Está entre os principais alimentos de subsistência plantados em todo o mundo, normalmente cultivada apenas para produzir o suficiente para alimentar as famílias dos agricultores (MONTEIRO et al., 2007; SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008).

Com produção anual superior a 105 milhões de toneladas, cultivadas em uma área 8,0 milhões de hectares, o que proporcionou produtividade média de 12,80 t ha⁻¹ (FAO, 2012; CIP, 2014). Ela é cultivada em 111 países, com 84% da produção na Ásia, 12,70% na África, 2,60% nas Américas, 0,6% na Oceania e 0,1% na Europa. Desse total, apenas 2% da produção estão em países industrializados, como os Estados Unidos e o Japão (FAO, 2010; FAO, 2013).

No ano de 2012, a China se destacou como o maior produtor mundial. Nesse mesmo ano, o Brasil foi o 19º produtor mundial de batata-doce, colhendo aproximadamente 479.425 mil toneladas de raízes, em uma área estimada de 40.120 ha, com produtividade média de 12 t ha⁻¹, sendo as principais regiões produtoras, a Sul e Nordeste (IBGE, 2012a; FAO, 2013). Em 2013, a produtividade média brasileira foi de 13,09 t ha⁻¹, sendo a região Sul a principal produtora, representando 45% da produção com 227.354 toneladas e, o estado do Rio Grande do Sul, com 166.354 toneladas e produtividade média de 13,42 t ha⁻¹, que representou 73,90 % da região Sul e 32,90% do País (IBGE, 2013).

O índice de produtividade tem sido crescente nos últimos anos, revelando que o sistema de produção evolui o nível tecnológico, embora muitas tecnologias (irrigação, adubação e melhoramento genético) disponíveis ainda sejam raramente aplicadas nessa cultura.

A batata-doce produz bem em regiões com 750 a 1.000 mm anuais de chuva ou com 500 a 600 mm de lâmina de água durante o ciclo produtivo para que apresente índice elevado de produtividade (EMPASC/ACARESC, 1990). Contudo, 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 (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002).

A baixa lucratividade da batata-doce acabou por evidenciar a necessidade da busca de outros caminhos mais atrativos para exploração da cultura. Apesar de apresentar excelente potencial, com multiplicidade de uso (na alimentação humana, animal e como matéria-prima nas indústrias de alimentos, corantes naturais, tecido, papel, cola, cosméticos, preparação de adesivos e álcool carburante), muito pouco estudo foi efetivamente realizado (CARDOSO et al., 2005; PEIXOTO et al., 1999). Dentre as várias possibilidades, a raiz poderá constituir-se importante alternativa para a produção de biocombustíveis (SILVEIRA, 2008; CASTRO; EMYGDIO, 2009).

Em 2013, o estado do Rio Grande do Sul consumiu um bilhão de litros de etanol. O estado produz entre 6 e 8 milhões de litros por ano, apenas 2% do álcool combustível utilizado (PRESTES, 2013). O preço do etanol é equivalente e, inclusive superior ao da gasolina, em razão do valor do transporte das usinas de São Paulo que produzem 70% do total do etanol do País.

Esse panorama demonstra uma oportunidade e necessidade de produção local de etanol. Entretanto, a opção pela solução padrão de produção deste combustível a partir da cana não parece ser a mais adequada, devido à carência de variedades não adaptadas ao tipo de clima do Estado, onde as temperaturas médias variam entre 15°C e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 42°. Como alternativas, vem sendo estudado a utilização de culturas complementares ou substitutivas (arroz, batata-doce, beterraba, casca de arroz, mandioca, milho e sorgo sacarino) (MAGALHÃES, 2007; ROSADO JÚNIOR, 2009; CANOVA, 2011; CUNHA-PEREIRA et al., 2011; FABRICIO, 2011; GONÇALVES NETO et al., 2011; WESCHENFELDER, 2011; MANOCHIO, 2014; TABORDA et al., 2015).

Do ponto de vista da economia de divisas e do melhor aproveitamento dos benefícios do uso do etanol, seria aconselhável a implantação de miniusinas (1.200 L dia⁻¹). As vantagens comparativas e competitivas para a cultura da batata-doce são várias, dentre elas, pode-se destacar a ausência de queimadas, a não geração de vinhoto e a rusticidade da cultura. O “resíduo” obtido após a fabricação do etanol da batata-doce é considerado um co-produto, pela qualidade protéica e pela possibilidade de uso como ingrediente de ração para alimentação animal, nesse processo é obtida a baixo custo e a cada tonelada de raiz pode-se conseguir em torno de 150 kg de ingredientes para ração (SILVEIRA et al., 2008).

Também poderá ser destinado ao mercado farmacêutico, para a indústria de cosmético, e principalmente para indústria de bebidas finas. Além do maior rendimento, pode variar de 120 a 180 L t⁻¹, enquanto a cana-de-açúcar é capaz de produzir cerca de 90 L t⁻¹ de

biocombustível (MANOCHIO, 2014) e o ciclo da produção de batata-doce (6 meses) é mais curto do que o da cana (12 meses). A batata-doce passa a ser alternativa como parte integrante de um sistema sinérgico cana/batata-doce de produção, e ao mesmo tempo em que não exclui a sua utilização para maiores escalas (SILVEIRA et al., 2008; GONÇALVES NETO, 2010).

Esse modelo está alinhado às características culturais e agrárias do Estado, possibilitando a inclusão de pequenos agricultores no desenvolvimento da cadeia de etanol. Estes poderão ser integrados em redes de cooperativas ou associações, estabelecendo níveis de cooperação nas etapas de plantio e cultivo. A cadeia produtiva criada baixará os custos de produção, gerando maiores vantagens aos pequenos produtores e autossuficiência energética rentável ao País, contribuindo para a preservação dos serviços ecossistêmicos e para o desenvolvimento rural, com benefícios sociais e ambientais (MAROUN, 2013).

Além disso, a ampliação da participação da biomassa a partir do desenvolvimento de fontes amiláceas, propicia a oportunidade de executar políticas de cunho social, econômico e ambiental em todo o território nacional. Com iniciativa para promover importantes aumentos de novos investimentos, empregos, renda e desenvolvimento tecnológico, além de oportunidades para atender parte da crescente demanda mundial por combustível de reduzido impacto ambiental (SALLA, 2008).

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito de lâminas de irrigação e épocas de colheita na cultura da batata-doce destinada à produção de etanol.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito das lâminas de irrigação no rendimento e nos teores de amido, amilose e proteína;
- Determinar o rendimento e os teores de amido, amilose e proteína nos diferentes tratamentos de irrigação e épocas de colheita;
- Avaliar o processo de hidrólise enzimática e fermentação simultânea de batata-doce para a produção de etanol em escala de laboratório;
- Avaliar a produção de etanol de batata-doce em escala piloto;
- Comparar a produção de etanol por sacarificação e fermentação simultânea com o processo convencional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO SOBRE A BATATA-DOCE

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é originária da América Tropical, tendo como provável centro de diversidade o Noroeste da América do Sul (LISBOA, 1949), citado por Ribeiro Filho (1967). Devido a sua natureza rústica, ampla adaptabilidade e facilidade de multiplicação, disseminaram-se por toda a Ásia, África e América Latina durante os séculos XVII e XVIII.

Há mais de dez mil anos existem relatos do seu uso, 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 (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008).

Em Papua, Nova Guiné, e em outras partes da Ásia, muitos tipos de batata-doce são geneticamente distintos dos encontrados em suas áreas de origem. Alguns pesquisadores acreditam que durante a conquista espanhola da América Latina, exploradores europeus levaram a cultura da batata-doce para o sudoeste do Pacífico, enquanto outros consideram que, muito antes disto, o cultivo da batata-doce era deslocado de toda a ilha para a Ilha do Pacífico, sendo as raízes levadas em barcos pelos povos indígenas. Os maiores consumidores per capita de batata-doce no mundo são os habitantes das ilhas do Pacífico e os únicos países industrializados que produzem quantidades apreciáveis de batata-doce (cerca de 50.000 toneladas) são, respectivamente, o Japão e os Estados Unidos (CIP, 2008).

A China se destaca como o maior produtor mundial (2012), com mais de 4,7 milhões de hectares cultivados, com produção de 73 milhões de toneladas (equivalente a 75% da produção mundial) e com produtividade média de 23,10 t ha⁻¹. O continente africano se destaca como o segundo grande produtor, porém com baixa produtividade média de raízes, 4,40 t ha⁻¹ (FAO, 2010; FAO, 2013).

No Brasil, a batata-doce é uma cultura antiga, cultivada pelas populações indígenas muito antes do descobrimento do Brasil. Os investimentos na cultura são muito baixos, e o principal argumento contrário ao investimento em tecnologia é que a lucratividade também é baixa. Isso leva a um pequeno volume individual de produção, ou seja, os 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-se em ganho extra. Dessa forma, é obtido produto de baixa qualidade, que sofre restrições na comercialização tanto por parte

dos atacadistas, que tendem a reduzir o preço, quanto por parte dos consumidores, que refuga parte do produto exposto à venda (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008).

Segundo, esses mesmos autores, o volume de venda nos supermercados e nos atacadistas é relativamente pequeno. Com isso, não se formou, ao longo do tempo, um canal de comercialização e não se conhecem casos de produção programada ou organizada em forma de cooperativas ou associações. O maior volume de vendas ocorre em mercados de periferia, como as feiras e quitandas, que é individualmente pequeno, formando-se um ciclo vicioso de baixa qualidade do produto, baixo valor pago ao produtor, pouco investimento e baixo nível tecnológico.

Com o aumento do êxodo rural, grande parte do consumo de batata-doce foi substituída por hortaliças de mais fácil preparo e de maior atratividade (batata, cenoura, tomate e vários tipos de verduras), que anteriormente eram pouco consumidas pelas famílias rurais por serem de difícil cultivo em hortas domésticas. Esta tendência no consumo da batata-doce no Brasil é exatamente o oposto do que ocorre em países asiáticos, onde a hortaliça é considerada um alimento de primeira qualidade, sendo altamente valorizado pelos consumidores (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008).

Comparada com outras culturas (arroz, banana, milho e sorgo), a batata-doce é mais eficiente em quantidade de energia líquida produzida por unidade de área e por unidade de tempo. Isso ocorre porque a batata-doce produz grande volume de raízes em ciclo relativamente curto, a custo baixo, durante o ano inteiro (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008).

Portanto, deve-se criar no Brasil um sistema de produção com várias tecnologias visando incrementar a produção da batata-doce para diversas finalidades e melhorar a qualidade do produto ofertado aos consumidores.

2.2 CARACTERÍSTICAS E FASES FISIOLÓGICAS DA CULTURA

A batata-doce é uma olerícola dicotiledônea pertencente à família *Convolvulaceae*, ao gênero *Ipomoea* e à espécie *Ipomoea batatas* L. Planta de constituição herbácea, rastejante, verde ou arroxeadada, chegando a alcançar de 3 a 5 m de comprimento. As folhas podem ser cordiformes, lanceoladas e recortadas, com pecíolos bastante desenvolvidos. As flores são hermafroditas, de colorações lilás ou arroxeadadas, porém, autoestéreis, o que favorece a fecundação cruzada artificial e, portanto, a obtenção de sementes (EDMOND; AMMERMAN, 1971). A batata-doce é a única espécie da família *Convolvulaceae* cultivada

com fins alimentícios, as outras espécies da mesma família são cultivadas para fins ornamentais na Ásia, África e Austrália (HALL; PHATAK, 1993).

As raízes comercializadas desta cultura são tuberosas, envoltas com película externa de coloração variada e com formatos distintos variando com o tipo de solo, podendo-se obter formas alongadas até mesmo arredondadas. A coloração da polpa varia entre as cores branca, amarela, alaranjada, avermelhada e roxa (MIRANDA et al., 1995). Durante o crescimento anual da planta de batata-doce são identificadas três fases fisiológicas:

- A primeira: Predomina o desenvolvimento da parte aérea e são formadas as raízes absorventes e as aptas à tuberização, a formação das raízes adventícias. No grupo de raízes adventícias, as mais importantes, e que se originam nos entrenós das ramas, encontram-se as raízes geotrópicas positivas, podendo apresentar raízes finas, grossas, fibrosas, delgadas e raízes capazes de formarem batatas. As raízes fibrosas, delgadas e as capazes de formarem batatas são derivadas das raízes grossas. Conforme Togari (1950) e Wilson (1970, 1982), as raízes grossas diferem das finas no tamanho, na taxa de crescimento, na origem e, principalmente, na propensão das raízes grossas para a iniciação da tuberização, em região subapical específica;

- A segunda: A formação das raízes laterais, que ocorre o crescimento radical (tuberização) e vegetativo;

- A terceira: A formação das raízes de batatas, onde prevalece a tuberização. Em estudos feitos por Figueiredo e Casali (1993) com duas cultivares, foram verificadas essas fases através da sigmoide de crescimento, concluindo que a produção de raízes tuberosas deverá ser máxima e qualitativamente melhor (matéria seca e carboidratos) quando as plantas atingirem o patamar sigmoidal. O processo da iniciação da tuberização é influenciado pelos seguintes fatores ambientais: fotoperíodo, luz, água, suprimento de nitrogênio e fósforo. Esses fatores são geralmente diferentes daqueles responsáveis pelo desenvolvimento das raízes grossas, (FUJISE; TSUNO, 1967).

2.3 A CULTURA DA BATATA-DOCE

A propagação da batata-doce pode ser feita por meio de mudas, estacas, sementes botânicas, enraizamento de folhas destacadas ou cultura de tecido *in vitro*. Porém as ramas constituem o meio de propagação mais recomendado para culturas comerciais por ser mais econômico (MIRANDA et al., 1984). Também se propaga assexuadamente, sendo este processo usado para plantios comerciais.

Segundo Folquer (1978), a batata-doce é uma planta rasteira amplamente adaptada a diversas condições de solo em termos nutricionais e de pH. Para Miranda et al. (1995), a batata-doce desenvolve-se e produz bem em qualquer tipo de solo, desde os franco-arenosos até os mais argilosos. Entretanto, os ideais são os solos mais leves, soltos, bem estruturados, de média ou alta fertilidade, bem drenados e com boa aeração. Nesses solos, as raízes são mais uniformes e com pouca aderência de terra na superfície tendo melhor aparência.

Em solos pouco férteis, os usos de fertilizantes minerais e orgânicos proporcionam incremento significativo na produtividade, enquanto que em doses elevadas de nutrientes, como potássio, ocorre diminuição na produtividade, devido à elevação da salinidade do solo proporcionada pelas maiores concentrações de adubo nas raízes (BRITO et al., 2006).

Segundo Miranda et al. (1995), a batata-doce exige temperaturas relativamente altas e não tolera geadas. Para seu desenvolvimento vegetativo adequado a planta exige temperatura média superior a 24°C, alta luminosidade, fotoperíodo longo e suficiente umidade do solo. É cultivada em regiões localizadas desde a latitude de 42° N até 35° S, desde o nível do mar até 3.000 m de altitude, em locais de climas diversos como o das Cordilheiras dos Andes; em regiões de clima tropical, como o da Amazônia; temperado, como no do Rio Grande do Sul e até desértico, como o da Costa do Pacífico. É considerada uma cultura rústica, pois apresenta grande resistência a pragas, pouca resposta à aplicação de fertilizantes, e cresce em solos pobres e degradados. Apesar de sua rusticidade, a batata-doce também é suscetível a um grande número de doenças causadas por fungos, vírus, nematóides e ao ataque de insetos e ácaros (PEIXOTO et al., 1999).

Os espaçamentos mais utilizados para o plantio de batata-doce variam de 80 a 100 cm dentre leiras e de 25 a 40 cm entre plantas. Para solos muito férteis recomendam-se espaçamentos menores. As ramas ou mudas são plantadas sobre leiras, de 20 a 30 cm de altura ou camalhões, para facilitar tanto na drenagem como na aeração do solo, nos tratamentos culturais e na colheita, assim como, para ajudar na conservação do solo (VILAS BOAS; OKUMURA; MALUF, 1999).

A determinação da época de colheita tem grande influência na produção vegetativa, na qualidade, produtividade de raízes e produção de fitomassa, sendo que seu manejo permite adequar a oferta à demanda. Além disso, a melhor época de colheita depende da cultivar, das condições ambientais e da demanda e preço do mercado, variando de acordo com a destinação do produto (SMITH; MANTENGO, 1995).

Não existe norma oficial para a padronização da comercialização da batata-doce. No entanto, nos principais mercados brasileiros (Rio de Janeiro e São Paulo) há normas não

oficiais de padronização de tamanho, onde extra A está entre 301 a 400 g; extra B entre 201 a 300 g; especial entre 151 a 200 g e diversos entre 80 a 150 g ou maiores que 400 g (SILVA; QUEIROZ, 2002).

O ciclo da cultura varia entre 90 e 240 dias (VERNIER; VARIN, 1994), 150 a 210 dias (KHATOUNIAN, 1994), 150 a 240 dias (SMITH; MANTENGO, 1995), dependendo da cultivar e das condições ambientes. A época de colheita varia de acordo com a destinação do produto. Para mesa, a batata-doce deve ser colhida tão logo atinja o tamanho ideal de comercialização, que varia entre 151 a 800 g em mercados menos exigentes, o que geralmente ocorre dos 100 aos 110 dias após o plantio para as cultivares precoces, até aos 180 dias para as tardias (MIRANDA et al., 1984; RESENDE, 2000).

Para a indústria de alimentos, tecido, papel, cola, cosméticos, preparação de adesivos e álcool carburante, as batatas ficam maiores, com peso superando 800 g, influenciando na qualidade das raízes, tais como, porcentagens de matéria seca e de carboidratos, que geralmente são mais elevadas. Poucos trabalhos têm sido realizados para avaliar a interferência da época de colheita sobre a qualidade e a produtividade de raízes de batata-doce (SILVA et al., 1995).

2.4 PRODUTIVIDADES DA BATATA-DOCE

Quanto à capacidade produtiva, utilizando irrigação por aspersão, vários autores relatam diferentes rendimentos para a cultura. Azevedo et al. (2000), no estudo do desempenho de clones e métodos de plantio de batata-doce, no município de Ijaci-MG, encontraram produtividade entre 8,21 a 33,51 t ha⁻¹; Souza (2000), avaliando cultivares de batata-doce quanto aos atributos agronômicos desejáveis, no município de Vitória da Conquista-BA, entre 13,70 e 21,70 t ha⁻¹; Resende (2000), no estudo das características produtivas de cultivares de batata-doce em duas épocas de colheita, em Porteirinha-MG, entre 21,15 e 27,73 t ha⁻¹ e 33,25 e 60,51 t ha⁻¹ quando colhidas aos 150 e 200 dias após o plantio (DAP), respectivamente. No município de Palmas-TO, Silveira et al (2002) indicaram melhora no processo de seleção de clones de batata-doce com produtividade entre 28 a 65 t ha⁻¹ nas condições edafoclimáticas do município. Este fato indica superioridade desses novos clones de batata-doce entre 154 a 400% em relação à produtividade obtida na década de 70.

Cavalcante, Ferreira e Soares (2003), no estudo sobre avaliação de clones de batata-doce em Rio Largo-AL, encontraram produtividade entre 6,74 e 21,32 t ha⁻¹. Cardoso et al. (2005), avaliando clones de batata-doce em Vitória da Conquista-BA, entre 4,10 e 28,50 t ha⁻¹

e Massaroto (2008), no estudo das características agrônômicas e produção de silagem de clones de batata-doce, em Ijaci-MG, entre 5,90 e 26,60 t ha⁻¹.

Também, no município de em Ijaci-MG, Gonçalves Neto et al. (2011, 2012), no estudo de 39 genótipos de batata-doce, sendo 36 clones e três cultivares comerciais pertencentes à coleção de germoplasma da Universidade Federal de Lavras-MG, após 7 meses de cultivo, destacaram-se os clones UFLA07-04 (52,70 t ha⁻¹), UFLA07-31 (56,80 t ha⁻¹), UFLA07-49 (64,30 t ha⁻¹), UFLA07-12 (97,99 t ha⁻¹), UFLA07-43 (95,09 t ha⁻¹) de duas a três vezes mais produtivos que as três testemunhas Palmas, Brazlândia-Branca e Brazlândia-Rosada, que produziram, respectivamente, 27,30; 28,00 e 11,30 t ha⁻¹.

Silva (2010a), no estudo do desempenho agrônômico de 96 genótipos de batata-doce oriundos de sementes botânicas obtidas de campo de policruzamento de 12 genótipos previamente selecionado com base na produtividade e com potencial para produção de etanol, conduzido na estação experimental da UFT, com colheita realizada 150 DAP, encontrou produtividade média de raízes variando de 23,15 a 73,22 t ha⁻¹, destacando-se os genótipos BDGU-58, BDGU-34, BDGU-49, BDGU-74, BDGU-51 e BDGU-35 com produtividades de 46,94; 49,74; 51,26; 51,53; 55,65 e 73,22 t ha⁻¹ de raízes, respectivamente, superiores as testemunhas utilizadas: Marcela (33,04 t ha⁻¹), Júlia (31,17 t ha⁻¹), Ana Clara (31,10 t ha⁻¹) e Carolina Vitória (28,65 t ha⁻¹). Os genótipos BDGU-35 e BDGU-51 foram os mais produtivos e, portanto, promissores a produção de etanol combustível.

Amorin et al. (2011) em estudo sobre adaptabilidade fenotípica de genótipos de batata-doce oriundos de sementes botânicas na região Sul do Estado do Tocantins utilizando 22 genótipos, aos 150 DAP foram obtidas produtividades médias de 29,72 a 48,88 t ha⁻¹ de raízes; Em três regiões do estado de Sergipe, Oliveira Neto (2012) avaliando o desempenho de 31 clones de batata-doce obteve produtividades máximas de raiz de 40,59 t ha⁻¹ (clone IPB-079) no município de São Cristóvão, 36,02 t ha⁻¹ (clone IPB-087) no município de Malhador e 65,89 t ha⁻¹ (clone IPB-077) no município de Canindé do São Francisco respectivamente, com ciclo de seis meses;

Martins et al. (2012), no estudo da variabilidade fenotípica e divergência genética em 50 clones de batata-doce oriundos do Programa de Melhoramento Genético da UFT, aos seis meses após o plantio, encontraram as maiores médias em dois clones (primeiro grupo), Duda (40,9 t ha⁻¹) e 22.19 (45,4 t ha⁻¹). O segundo grupo foi representado por cinco clones, com médias entre 33,5 e 39,0 t ha⁻¹. O terceiro grupo por sete clones, apresentando valores de 28,3 a 32,3 t ha⁻¹. O quarto, quinto e sexto grupo foram formados por 11, 10 e 11 clones, respectivamente. O sétimo grupo, constituído de quatro clones, foi o que apresentou as

menores médias, 6,1 a 4,4 t ha⁻¹. Nos teores médios de amido, os clones 22.06, 106.63, 114.22 e Lívia apresentaram os maiores percentuais, acima de 60%. Os clones Duda e 02.39, com teores médios abaixo de 55,3%, apresentaram os menores valores de amido. No rendimento em etanol foi observada a formação de cinco grupos. No primeiro grupo, teve destaque o clone 22.19, com o maior rendimento em etanol (7,63 m³ ha⁻¹). No segundo grupo, o clone Barbara apresentou o maior rendimento (6,05 m³ ha⁻¹). O terceiro grupo, formado por 12 clones, apresentou rendimentos oscilando de 3,51 a 4,82 m³ ha⁻¹. O quarto grupo com 15 clones e o quinto grupo, também com 15 clones, foram os que obtiveram as menores médias para esta característica;

Santana et al. (2013), também na UFT, utilizando a mesma tecnologia, no estudo da identificação agrônômica de 20 genótipos de batata-doce em banco de germoplasma para fins industriais de etanol carburante, concluíram: a cultivar Duda apresentou produtividade média de 55,09 t ha⁻¹ e os genótipos BDI2007.0217, BDI2007.PA37 e BDI2007.PA26 tiveram produtividades de raiz variando de 47,62 a 50,39 t ha⁻¹; as médias de rendimento de etanol tiveram variação de 89,26 L t⁻¹ de raiz para o genótipo BDI2007.10652 a 181,65 L t⁻¹ para a cultivar Duda; os rendimentos de etanol obtido dos genótipos BDI2007.PA37, BDI2007.PA26 e BDI2007.0217 variaram de 8.440,78 L ha⁻¹ a 6.136,8 L ha⁻¹, já a cultivar Duda obteve rendimento de 10.007,1 L ha⁻¹; a avaliação da produção agrícola e rendimento de etanol carburante por massa e área plantada indicaram os genótipos BDI2007.PA37, BDI2007.PA26 e BDI2007.0217 juntamente com a cultivar Duda, como potenciais a serem utilizados na indústria de processamento de batata-doce para a produção de etanol carburante, devido a produtividade média de etanol produzida por hectare.

Vieira et al. (2015), no estudo da avaliação agrônômica de clones de batata doce com potencial para produção de etanol, também na UFT, onde avaliaram 60 tratamentos pertencentes ao Laboratório de Pesquisa e Produção de Energias Renováveis- LASPER, sendo 50 genótipos de clones experimentais e 10 cultivares de batata-doce utilizadas como testemunhas, originárias do programa de melhoramento, observaram que a produtividade da raiz variou de 3,82 t ha⁻¹ a 46,77 t ha⁻¹, a produtividade média do experimento foi de 21,34 t ha⁻¹. Os clones mais produtivos foram: 048-02 (46,77 t ha⁻¹), 112-07 (38,26 t ha⁻¹), 022-19 (37,56 t ha⁻¹), 048-14 (36,40 t ha⁻¹), Marcela (35,90 t ha⁻¹) e 114-18 (34,87 t ha⁻¹). O teor de amido dos clones variou de 43,85% (clone 106-62) a 60,62% (clone 022-06), com valor médio de 58,62%. Dentre os clones estudados, os que apresentaram maiores destaques na relação amido/produtividade foram 048-14 (56,80% e 36,40 t ha⁻¹), 114-18 (59,09% e 34,87 t ha⁻¹), 022-19 (59,50% e 37,56 t ha⁻¹), 048-02 (59,60% e 46,77 t ha⁻¹) e o clone 112-07

(60,05% e 38,26 t ha⁻¹). Os clones 048-02, 112-07, 022-19, 048-14, 114- 18 apresentam agronomicamente potencial para produção de etanol, devido à variação no teor de amido.

Na China, Tian et al. (2009), a produção média em campo de batata-doce foi de 37,06 t ha⁻¹, porém pode-se obter rendimentos entre 45 a 75 t ha⁻¹, dependendo das condições da terra e das melhorias em novas variedades, aumentando assim a estimativa da batata-doce na produção de etanol em litros por hectare.

Queiroga et al. (2007), em Mossoró-RN, avaliando a fisiologia e a produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita, em cultivo de sequeiro, não observaram interação significativa para os fatores estudados (cultivar x época de colheita) para as características fisiológicas da planta, enquanto que para produção, observaram-se efeito da interação dos fatores (cultivar x época de colheita) apenas para a característica de comprimento de raízes comerciais.

2.5 A IRRIGAÇÃO

A irrigação é a atividade agrícola que visa atender às exigências hídricas das culturas, a qual é dependente das condições climáticas, da planta e umidade do solo (SENTELHAS et al., 2001). A irrigação permite a suplementação de água nos períodos de estiagem possibilitando melhor utilização das áreas agrícolas (RESENDE; ALBUQUERQUE; COUTO, 2003).

Segundo a Agência Nacional de Águas-ANA (2012), no Brasil 72% da água consumida é destinada à irrigação. Para Brandão et al. (2006), a utilização desordenada e o mau gerenciamento dos recursos hídricos geram problemas sociais e ambientais de grande relevância, relativos tanto à disponibilidade quanto à qualidade da água.

Para melhorar a utilização da água durante as irrigações, deve-se fazer correto manejo de irrigação, que é o processo para decidir quando e com quanto irrigar as culturas. Com correto manejo de água no solo, pode-se aumentar o desempenho e diminuir as perdas, tornando o sistema mais eficiente e sustentável (SOARES, 2010).

A escassez hídrica é um dos fatores mais importantes na limitação da produtividade das plantas em todo o mundo. O suprimento artificial de água via irrigação é importante instrumento para amenizar os impactos das oscilações climáticas sobre a produção agrícola (AMUDHA; BALASUBRAMANI, 2011).

No estado do Rio Grande do Sul, a disponibilidade de água às plantas é o principal fator responsável pela frequente oscilação do rendimento às culturas (soja, arroz, milho,

pastagens, entre outras) (MATZENAUER et al., 1995). Períodos em que ocorre escassez hídrica (“veranicos”) causam a diminuição na produção e a magnitude dessa diminuição depende da duração e do número de “veranicos”. Tal ocorrência de irregularidade das chuvas normalmente acontece no período de primavera-verão, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

A produção das culturas não é dependente de qual método de irrigação está sendo utilizado, e sim da quantidade (lâmina) e eficiência de aplicação de água de cada sistema. Segundo Mendonça et al. (2007), há métodos que se adaptam melhor às condições locais de solo, de topografia e de manejo da cultura a ser irrigada (superfície, aspersão e localizada). Conforme, Drumond e Aguiar (2005), estes são fatores que devem ser levados em conta na aquisição de sistemas de irrigação, uma vez que existem diversas alternativas para projetos no mercado.

Estratégias no manejo e uso eficiente da água de irrigação é a chave para a sustentabilidade e rentabilidade dos cultivos, e também são de fundamental importância para a obtenção de maiores rendimentos, qualidade, redução de custos e ao uso racional da água (PADRÓN et al., 2015). Assim, os conhecimentos adequados de como os vegetais respondem ao estresse abiótico é pré-requisito para escolher tanto a melhor variedade como as melhores práticas de manejo, visando aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais (SMIT; SINGELS, 2006).

2.5.1 Irrigação em batata-doce

A fase crítica de disponibilidade de umidade no solo ocorre na primeira semana após o plantio, porque as ramas-semente não possuem sistema radicular formado para explorar umidade contida em camadas inferiores do solo. Neste período é necessário realizar pelo menos duas irrigações, sendo a primeira logo após o plantio, visando promover o contato do solo com as ramas-semente, favorecendo a manutenção da umidade do tecido vegetal. Com isso garante-se maior taxa de aproveitamento do material de propagação, evitando-se o replantio (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008).

As raízes de reserva se formam no início do desenvolvimento da planta, e estas estruturas além de se constituírem reservas para a própria planta, são unidades de reprodução que emitem novas brotações se a parte aérea da planta for eliminada ou se ressecar pela deficiência hídrica prolongada. Nesse caso, o ciclo cultural se prolonga, mas raramente ocorre perda total da lavoura, como é comum ocorrer com outras espécies nessas condições (SILVA;

LOPES; MAGALHÃES, 2008).

Após o início das brotações, as irrigações podem ser mais espaçadas, dependendo do tipo de solo, e deve prosseguir pelo menos até os 40 dias após o plantio, para promover um bom pegamento das ramas e bom desenvolvimento vegetativo. Em termos práticos, recomenda-se irrigar duas vezes por semana, até os 20 dias; uma vez por semana, dos 20 aos 40 dias; e a cada duas semanas, após os 40 dias até a colheita (MIRANDA et al., 1995).

A batata-doce possui sistema radicular profundo (75 a 90 cm) e ramificado, o que lhe possibilita explorar maior volume de solo e absorver água em camadas mais profundas do que a maioria das hortaliças (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008).

Na Embrapa Hortaliças, durante a estação seca, o uso da irrigação aumentou a produtividade de raízes comerciais em aproximadamente 35%. Os resultados indicaram ainda que a adoção de um turno de rega de 21 dias após o estabelecimento inicial da cultura, com aplicação de 40% da água evaporada, proporcionou bons resultados (OLIVEIRA; MAROUELLI, 1997). Estudo de cultivares na Universidade Federal do Tocantins-UFT, utilizando irrigação complementar, apresentou produtividade média de 65 t ha⁻¹ (em ciclo de 6-7 meses), com 40% de matéria seca (GONÇALVES NETO, 2010).

2.6 O ÁLCOOL ETÍLICO OU ETANOL

Considera-se o álcool um dos mais antigos produtos obtidos através da destilação de produtos orgânicos fermentados de fontes biológicas não fósseis (cana-de-açúcar, sorgo sacarino, beterraba, frutas, mandioca, batata, batata-doce, arroz, trigo, tritcale, aveia, milho, celulose, etc.) feitos pelo homem.

O álcool etílico ou etanol é função química, formado por carbono, oxigênio e hidrogênio, com fórmula molecular C₂H₅OH, derivado dos hidrocarbonetos pela substituição de um átomo de hidrogênio pelo grupo químico hidróxido. Apresenta as seguintes características: líquido incolor; límpido; cheiro cáustico e ardente; sabor picante; miscível em todas as proporções com a água e em diferentes líquidos orgânicos; peso específico = 790 kg m⁻³ a 15°C; massa específica = 0,78930 g L⁻¹ a 20°C; temperatura de ebulição = 78,35°C (760 mm Hg); temperatura de solidificação = - 114,3°C; inflamável (queima com chama azul, pouco luminosa, porém muito quente); antisséptico e bactericida (utilizado em higienização); solvente de diversos compostos orgânicos e inorgânicos; agente preservante e precipitador; dissolvente de nitrocelulose, resinol, sabão, óleos essenciais, perfumes, tintas, vernizes, drogas e ceras; utilizado na elaboração de bebidas alcoólicas, combustível e em muito outros

produtos (MORRISON, 1990).

Conforme Rasovsky (1979), o álcool poderá ser classificado de acordo com o seu grau, ou seja, o teor em álcool 100% na mistura álcool-água, podendo ser álcool bruto, álcool retificado e álcool desidratado.

Álcool bruto ou de segunda é obtido a partir da extração do álcool contido no mosto fermentado junto com as suas impurezas voláteis. O álcool bruto, fraco ou flegma possui graduação alcoólica de 50°GL - 94°GL.

Álcool retificado ou hidratado é obtido da concentração do chamado álcool fraco ou flegma junto com todas as impurezas e concentrado até 96°GL.

Álcool desidratado, absoluto ou anidro é obtido pela retirada de toda a água contida no álcool retificado pelo fracionamento, apropriado para mistura com carburantes, tendo graduação mínima de 99,95°GL.

O Brasil e os Estados Unidos são os maiores produtores de etanol do mundo, empregando-se a cana-de-açúcar e o milho como matérias-primas, respectivamente (DIAS et al., 2012). Entretanto, a cana-de-açúcar tem sido vista como uma das responsáveis pelo sistema de estrutura agrária baseado na monocultura e latifúndio, além do alto custo de produção (CASTRO; EMYGDIO, 2009; MURILLO, 2013). Além disso, dentre os impactos negativos resultantes da produção em larga escala da cana-de-açúcar, podem ser citados a destruição de regiões de alta biodiversidade, o desmatamento, a degradação de solos por meio do uso de produtos químicos, a contaminação de recursos hídricos e o agravamento das condições de trabalho no campo (GOLDENBERG; COELHO; GUARDABASSI, 2008). Enquanto que as tecnologias de etanol de milho atuais são menos intensivas no uso de petróleo do que a gasolina, mas usam carvão e gás natural, ocasionando emissões de gases do efeito estufa (GEE) semelhante às da gasolina (FARRELL et al., 2006). Outro ponto controverso deve-se ao fato da produção de etanol competir diretamente com a produção de alimentos ao utilizar matérias-primas nobres e de uso alimentar, deslocando o cultivo em terras férteis para uso energético que poderiam ser utilizadas na produção de alimentos (BOMTEMPO, 2011).

Manochio (2014) fazendo comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos da produção de etanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba em Poços de Caldas-MG, mostrou que o rendimento do etanol ($L\ t^{-1}$) produzido a partir do milho é cerca de 5 vezes maior do que o etanol de cana-de-açúcar, este último apresenta quase o dobro no rendimento por hectare cultivado. Desta forma, seriam necessários 2 hectares de milho para produzir a quantidade de etanol que 1 hectare de cana-de-açúcar produz. Já o etanol a partir da

beterraba apresentou resultados semelhantes aos obtidos para a cana-de-açúcar e assim, mais vantajosa que o milho em termos de rendimento (desconsiderando a vertente econômica), mas apesar de seu rendimento ser semelhante à da cana-de-açúcar, a beterraba tem a necessidade de ser replantada anualmente por sementes, enquanto que a cana deve ser renovada de 6 em 6 anos se não for irrigada, podendo chegar de 12 em 12 anos para a irrigada. Este fato faz com que o custo da produção de etanol via beterraba seja mais elevado (MONTEIRO, 2011).

A produção de etanol a partir de amiláceas tem sido uma técnica muito adotada na Europa, Estados Unidos e países Asiáticos. Segundo Souza (2005), este assunto tem sido objeto de estudos em países detentores de alta tecnologia (Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Estados Unidos, Canadá e China) utilizando também como matéria-prima grãos de cereais, mas no Brasil não é muito difundida e conhecida (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

Na Tabela 1, têm-se alguns exemplos de diferentes matérias-primas, com o ciclo, o rendimento e o custo para produzir etanol.

Tabela 1 – Diferentes matérias-primas, com o ciclo, o rendimento e o custo para produzir etanol.

Matéria-Prima	Ciclo da cultura (Meses)	Rendimento (t ha ⁻¹)	Rendimento médio do etanol (L t ⁻¹)	Rendimento médio do etanol (L ha ⁻¹)	Custo por litro de etanol
Cana-de-açúcar ¹	9-18	75-150 ⁹	61-115 ¹⁰	5400-10800	US\$ 0,245 R\$ 0,83 ⁵
Sorgo sacarino colmo ²	4-4,5	40-80	40-80	6442	R\$ 0,92 ⁵
Sorgo grão ²	3-3,7	3-7	436	1308	-
Milho ²	3,5-6	5-16	537	2684-4600	US\$ 0,274 ¹
Trigo ⁴	2-3	2,8	340	952	US\$ 0,480 ⁸
Arroz ⁴	4-4,7	4,2	430	1806	-
Beterraba ⁴	2,3-4	13-46	110	5060-10000	US\$ 0,762 ¹
Batata-doce ³	4-7	12-44	180-208	2496	R\$ 1,35 ⁶
Mandioca ²	9-18	14-30	165-200	2349-2589	R\$ 1,24 ⁷

Fonte: ¹Manochio (2014); ²IBGE (2014); ³IBGE (2012b) citado por Taborda (2014); ⁴FAO (2008) citado por Rizato e Felipe (2009); ⁵Weschenfelder (2011); ⁶Risso (2014); ⁷Masiero (2012) e ⁸UNICA (2006) citado por Magalhães (2007); ⁹Doorembos e Kassar (1979, 1994); ¹⁰Oliveira et al. (2012).

2.7 IMPORTÂNCIA E USO O DA BATATA-DOCE PARA PRODUZIR ETANOL

A batata-doce é uma planta de excelente fonte de nutrientes e energia, devido à concentração de carboidratos (variando entre 25% e 30%, dos quais 98% são facilmente digeríveis), açúcares (sacarose, glicose, frutose e maltose), sal mineral, vitaminas A, C e do Complexo B e razoáveis teores dos minerais Ca, K, Fe e P (CLARK; MOYER, 1988).

Comparada com outras estruturas vegetais amiláceas, possui maior teor de matéria seca, carboidratos, lipídios, cálcio e fibras que a batata, mais carboidratos e lipídios que o Inhame e mais proteína que a mandioca. Além disso, contém também grande quantidade de metionina, que é um dos aminoácidos essenciais para o bem estar dos seres humanos e torna-se um importante complemento alimentar para as famílias de baixa renda, principalmente, para países em desenvolvimento e com escassez de alimentos para a população (MIRANDA et al., 1989; 1995; FIGUEIREDO; PINTO, 1995).

Na alimentação humana, as raízes tuberosas podem ser utilizadas in natura, cozidas, fritas e assadas, bem como utilizadas para produção de doces, biscoitos e bolos, podendo ainda ser industrializadas e utilizadas para produção de farinhas, féculas, açúcares e xaropes. Devido ao elevado teor protéico (23 a 25% em massa seca) e nutritivo das folhas e pecíolos frescos, estes também são consumidos como qualquer outra hortaliça de folha em saladas ou cozidos com bons resultados (FOLQUER, 1978; CHALFANT et al., 1990).

Na produção da batata-doce para a alimentação há grande excedente que é descartado pelo tamanho, forma e imperfeições que poderá ser destinado para produção de etanol e para a obtenção da fécula, pois um dos principais componentes da raiz da batata-doce é o amido. Também poderá atuar como estabilizante, por apresentar grande quantidade de amido gelatinizável, bem como proporcionar coloração natural a diversos produtos e melhorar o substrato para os microrganismos responsáveis pela fermentação (ANDRADE; MARTINS, 2002).

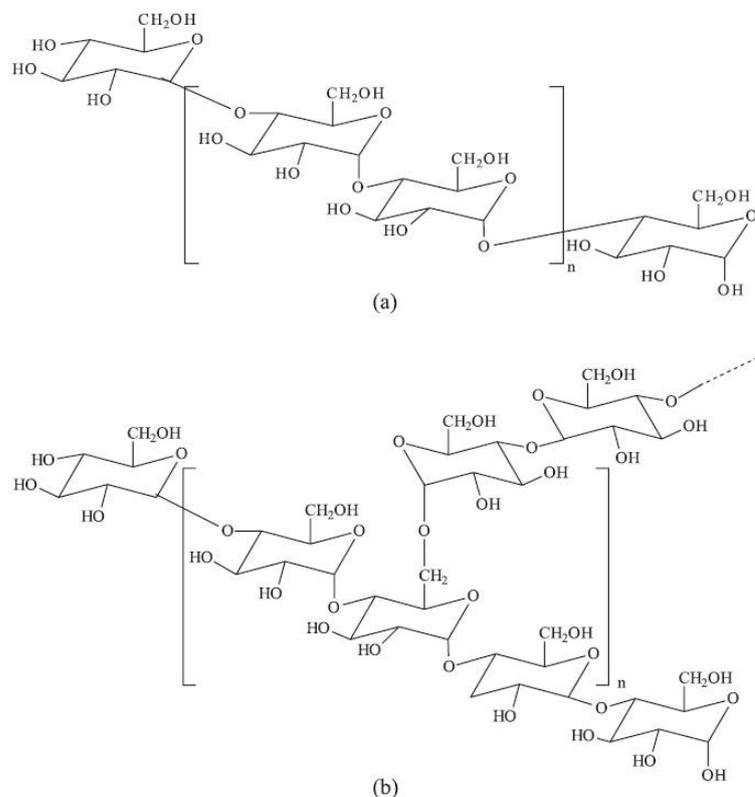
Por possuir alto teor de amido e grande variabilidade genética, a cultura possibilita a implantação de programas de melhoramento visando o mercado de produção de etanol, buscando alternativas para usinas e agricultores nas épocas posteriores ao plantio da cana-de-açúcar.

No etanol de batata-doce geram derivados e subprodutos, tais como: amida, butila, etila, vinila, borrachas sintéticas, PVC e compostos plásticos em substituição a diversos elementos hoje provenientes do petróleo (MARCOCCIA, 2007). Outra vantagem é que as fontes de biomassa quase não contêm enxofre na sua composição, principal componente

gerador de chuvas ácidas. Portanto do ponto de vista ambiental, a utilização do etanol biocombustível produz menos impacto para o efeito estufa e alterações climáticas. Atualmente a substituição gradual do petróleo por fontes de energia alternativas oriundas de biomassas renováveis é vista como um importante contribuinte para o desenvolvimento de uma sociedade industrial sustentável e eficaz em relação aos problemas ambientais (RAGAUSKAS et al., 2006).

O amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. Estruturalmente, a amilose origina uma cadeia linear formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4 (Figura 1a). A amilopectina forma uma estrutura ramificada, formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6 (Figura 1b). As proporções em que essas estruturas aparecem diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta (ELIASSON, 2004; TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

Figura 1 – Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b).



Fonte: Corradini et al. (2005).

No final do processo de produção do etanol da batata-doce (e também o da cana-de-açúcar) é gerado o etanol e o resíduo líquido. O resíduo gerado durante a produção de etanol da batata-doce com média de 93,80°GL poderá ser desidratado com o vapor da destilação e utilizado em ração, evitando o custo com o tratamento, proporcionando receita com a venda do produto e produzindo por tonelada de batata-doce processada, cerca de 150 kg de resíduo (TAVARES, 2006), apresentando nos estudos na UFT, teor de proteína bruta de 17,66% (RODRIGUES; RODRIGUES, 2012), teor de fibra bruta de 39,04%, extrato etéreo 2,92%, extrativos não nitrogenados 38,60% e cinzas 14,02% (SILVEIRA et al., 2008).

Através do desenvolvimento de novos clones de batata-doce, sob irrigação e com colheita aos 6 meses, alcançou valores de produção em campo que variaram entre 28 a 65 t ha⁻¹, nas condições climáticas do estado do Tocantins. O mesmo grupo vem desenvolvendo pesquisas voltadas para a melhoria do processo de obtenção de etanol a partir da batata-doce, através do estudo de novas metodologias, onde já foram alcançados rendimentos entre 120 a 199 L t⁻¹ de batata-doce, com média de produção de 190,26 L t⁻¹. Esses genótipos revelaram-se potencialmente competitivos com a própria cana-de-açúcar para a produção de etanol (SILVEIRA et al., 2008).

A cana-de-açúcar, com elevada produtividade (100 t ha⁻¹ e 90 L t⁻¹ de etanol), atinge a produção de 9.000 L ha⁻¹ de etanol, em ciclo de 12 meses (Bioetanol de cana de açúcar, 2008). Os genótipos de batata-doce considerados aptos para produção de etanol, com base na produção de 158 L t⁻¹ de etanol de raízes processadas, apresentam produção etanólica entre 7.078,40 e 15.484,00 L ha⁻¹ correspondentes à amplitude de produtividade de 44,80 e 98 t ha⁻¹ de raízes, respectivamente (SILVEIRA et al., 2008).

Ziska et al. (2009), nos estados de Alabama em Maryland-USA, relataram sobre as fontes potenciais de carboidratos para produção de etanol, ficando evidente neste estudo que a cultura da batata-doce é promissora para produção de etanol, alcançando no experimento 8.839 L ha⁻¹, contra 6.195 L ha⁻¹ da cana-de-açúcar, daquele país. Na China, estudos conduzidos por Tian et al. (2009), a respeito do potencial de produção de bicombustíveis, avaliaram algumas culturas em relação a estimativa de produção de etanol em L ha⁻¹, com 96% de concentração em volume de etanol, encontraram os seguintes resultados: Cana-de-açúcar (6.730 L ha⁻¹); beterraba (6.096 L ha⁻¹); batata-doce (5.880 L ha⁻¹); sorgo sacarino (4.970 L ha⁻¹); alcachofra de Jerusalém (4.665 L ha⁻¹); mandioca (3.638 L ha⁻¹); milho (3.168 L ha⁻¹) e trigo (2.357 L ha⁻¹).

Silva (2010b), na comparação entre cinco metodologias (variando as quantidades de massa ralada, das enzimas e das leveduras) visando obtenção de maior rendimento de etanol

de batata-doce a partir de três cultivares (Amanda e Barbara com cinco meses de cultivo, e a Marcela com seis meses) de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) lam.), na UFT, encontraram médias do teor de amido para as cultivares Marcela, Amanda e Barbara de 75,04, 68,61 e 67,03%, respectivamente e, a produção de etanol variou de 133,95 L t⁻¹ (Metodologia 2: 1/1,3 de massa ralada (kg)/água (L); 1500 mL t⁻¹ de raiz de α -amilase; 5,40 mL t⁻¹ de raiz de glucoamilase e 21 g de levedura) a 190,26 L t⁻¹ (Metodologia 5: 1/1 de massa ralada (kg)/água (L); 1500 mL t⁻¹ de raiz de α -amilase; 4,50 mL t⁻¹ de raiz de glucoamilase e 25 g de levedura) de raiz. Silveira et al. (2008) para as mesmas cultivares encontrou valores menores do teor de amido: Marcela (22,2%), Amanda (21,4%) e Barbara (23,2%). Esse contraste nos resultados pode ser explicado pela diferença nas metodologias utilizadas para determinação do teor de amido.

Também no mesmo trabalho, com intuito de averiguar as reais potencialidades da metodologia 5, Silva (2010b) testou em outras três cultivares: Barbara (com aproximadamente seis meses de cultivo), Amanda (com cinco meses de cultivo) e Ana Clara (com cinco meses e meio de cultivo), as médias de produção de etanol encontradas foram: Amanda (199,58 L t⁻¹ raiz), Barbara (198,88 L t⁻¹ raiz) e Ana Clara (187,10 L t⁻¹ raiz). Observaram-se comportamentos semelhantes de produção de etanol em relação aquele obtido pela cultivar Marcela (190,26 L t⁻¹ raiz) e o valor máximo de produção de etanol utilizando a metodologia 5 foi de 202,32 L t⁻¹ de raiz para a cultivar Barbara. Convertendo-se este valor para estimativa de produtividade em campo tem-se 9.448,34 L ha⁻¹.

Segundo Pavlak et al. (2011), no estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*, no Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos da UFT. A tecnologia de bioprocessos envolvida na produção de etanol a partir da batata-doce foi realizada em três repetições, atendendo ao protocolo de obtenção de etanol LASPER (SILVA, 2010b), computando volume de etanol de batata-doce entre 17.354 L ha⁻¹ e 20.007 L ha⁻¹.

Os experimentos desenvolvidos com a cultivar BRS-Cuia por Castro, Treptow e Becker (2012) na Embrapa Clima Temperado, no município de Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, apresentaram produtividade média de 40 t ha⁻¹, chegando a 60 t ha⁻¹ em época de condições climáticas favoráveis. Nas avaliações químicas, a quantificação do amido presente foi de 26,28%, a produção de etanol poderá chegar a 7.500 L ha⁻¹, valor na mesma ordem de grandeza da cana-de-açúcar. Por apresentar alta produtividade e expressiva concentração de amido a cultivar de batata-doce BRS-Cuia tem potencial para ser utilizada na produção de biocombustíveis (CASTRO; TREPTOW; BECKER, 2012).

Estudos realizados na Universidade no Estado da Carolina do Norte por Duvernay (2008) também desenvolveram batata-doce industrial com conteúdo maior de massa seca, portanto, quantidade maior de amido. Essa variedade (*Ipomoea batatas*, da família da glória da manhã) propiciou quantidade de álcool 50% superior ao obtido com batata-doce comum.

Serafim et al. (2016), na avaliação dos diferentes genótipos do banco de germoplasma de batata-doce para a produção de etanol, na UFT. No estudo de 7 genótipos (BDI2011-01, BDI2011-02, BDI2011-11, BDI2011-12, BDI2011-13, BDI2011-14, BDI2011-15) de batata-doce e uma cultivar como testemunha (Amanda), sob irrigação. O genótipo BDI2011-11 ($48,49 \text{ t ha}^{-1}$) foi o que mais se destacou, seguido dos BDI2011-02 ($45,59 \text{ t ha}^{-1}$); BDI2011-01 ($40,70 \text{ t ha}^{-1}$) e BDI2011-13 ($36,34 \text{ t ha}^{-1}$). Comparando as medias de teor de amido, o genótipo que obteve a maior porcentagem foi o BDI2011-14 (24,06%) diferenciando estatisticamente a nível de 5% de significância dos demais genótipos, mostrando-se promissor na produção de etanol. Os maiores resultados referentes às pesquisas realizadas no estado do Tocantins sobre esta característica que indicam cultivares para a indústria de etanol, apresentaram valores na faixa de 60% de teor de amido em base seca. Amostras com variações de amido entre 25 a 28% produzem até 170 L de etanol. Com utilização de leveduras modificadas no processo de fermentação é possível atingir até 200 L de etanol, para produtividade de 50 a 60 t ha^{-1} (BIS, 2017).

2.8 VIABILIDADE DE MINIUSINAS PARA PRODUZIR ETANOL

A produção de etanol é realizado em pequena escala, geralmente por pequenos agricultores não tem tradição no Brasil (OLIVEIRA, 2011). Por este motivo, estudos foram desenvolvidos para analisar a viabilidade econômica da produção de etanol em pequena escala.

Magalhães (2007), na análise da sustentabilidade da cadeia produtiva de etanol de batata-doce no município de Palmas-TO, demonstrou que a instalação de miniusina de etanol de batata-doce é viável. Entretanto, as miniusinas demonstraram eficiência econômica considerando a renda com a comercialização do resíduo como ingrediente para ração animal. A tecnologia de produção ainda está em teste para melhor adaptação as condições dos produtores para produção em pequena escala. A inovação tecnológica, aliada à política atual para a bioenergia, justificaria a instalação. A estes fatores pode ser somada a possibilidade de ganhos econômicos e sociais, uma vez que a instalação de miniusinas para a produção de etanol é economicamente, socialmente e ambientalmente eficientes.

Rosado Júnior (2009) (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) investigaram a viabilidade econômica do projeto de uma microdestilaria de álcool, com foco específico na pequena propriedade rural, analisado tanto para operação em sistema de cooperativa quanto por associação de produtores. Ainda, simularam duas alternativas de matéria-prima para abastecer a biodestilaria, sendo uma composta de cana-de-açúcar mais sorgo sacarino e a outra de batata-doce e sorgo sacarino, também indicou a agregação de valor aos resíduos (vinhaça e bagaço de cana e sorgo) que pode melhorar a rentabilidade como um todo, tanto pela utilização do bagaço excedente na alimentação animal, geração de energia ou compostagem, como pela fabricação de suplementos alimentares para animais a base de vinhaça.

Oliveira (2011) avaliou a viabilidade financeira para produção de etanol baseado na mão de obra familiar em pequena propriedade rural, utilizando como modelo a Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil - COOPERBIO. Os indicadores financeiros apontaram valores positivos, desde que o produto seja negociado entre cooperados. Esses resultados reforçam a necessidade de um programa político específico para fomentar a produção de etanol em pequena propriedade e o desenvolvimento de pesquisas científicas para a pequena indústria sucroalcooleira. As medidas adotadas com essa finalidade estimularão que o modelo implantado pela COOPERBIO em Frederico Westphalen-RS seja disseminado para outras cidades, com as devidas adequações promovendo a geração de energia com mão de obra familiar e diversificação da renda agrícola.

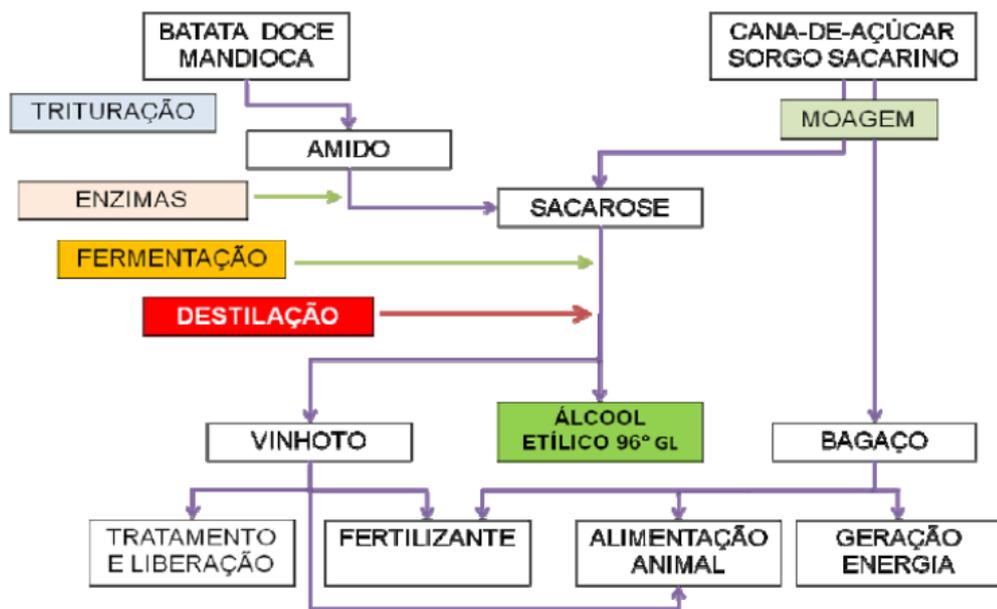
Para o autor, os benefícios minimizariam o impacto do aporte financeiro inicial elevado, diminuindo os riscos, melhorando as condições de competitividade das microusinas de etanol, aumentando a atratividade para o investimento privado em etanol combustível, de modo a permitir o ingresso e fortalecimento do pequeno produtor rural no mercado de energia. Historicamente verifica-se que apenas grandes produtores de cana-de-açúcar foram favorecidos com programas do governo. Além de todos os benefícios associados à adoção de uma microusina de etanol pelas cooperativas, ela poderá ser empregada como ferramenta de apoio e estímulo à agroecologia promovendo permanência destas famílias no campo, melhoria e diversificação na renda familiar, melhorias ao meio ambiente e contribuindo para a ampliação dos combustíveis renováveis e ambientalmente limpos na matriz energética brasileira (OLIVEIRA, 2011);

Canova (2011), da análise da viabilidade econômica da implantação de microdestilarias de etanol e Masiero (2012), da viabilidade econômica e técnica da instalação

de microusinas de etanol de batata-doce, ambos para o estado do Rio Grande do Sul, considerando a produtividade de quatro culturas de acordo com cada ano (Quadro 1) e seguindo o fluxograma de acordo com cada matéria-prima (Figura 2), após as análises chegaram à conclusão que somente será viável a implantação de microdestilarias de etanol no Estado se apresentarem os seguintes cenários (Quadro 2 e Quadro 3):

- Cenário 1: Sorgo sacarino e cana-de-açúcar;
- Cenário 2: Sorgo sacarino e mandioca;
- Cenário 3: Sorgo sacarino e batata-doce;
- Cenário 4: Sorgo sacarino, cana-de-açúcar e mandioca;
- Cenário 5: Sorgo sacarino, cana-de-açúcar e batata-doce.

Figura 2 – Fluxograma de produção de etanol a partir de fontes amiláceas e sacarídeas.



Fonte: Canova (2011).

Quadro 1 – Produtividade considerada por ano do projeto (t ha⁻¹).

Cultura/ Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Cana-de-açúcar	70	63	56,7	51	46	70	63	56,7	51	46	57,3
Sorgo sacarino	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Batata Doce	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Mandioca	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fonte: Canova (2011).

Quadro 2 – Períodos de plantio e colheita das culturas analisadas.

janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	Plantio
		■	■	■	■	■	■	■	■			cana-de-açúcar
								■	■	■		mandioca
■	■								■	■	■	batata-doce
								■	■	■	■	sorgo
janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	Colheita
				■	■	■	■	■	■	■	■	cana-de-açúcar
			■	■	■	■	■	■	■			mandioca
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	batata-doce
	■	■	■									sorgo

Fonte: Fundação Getulio Vargas (FGV) - EMATER/RS citado por Canova (2011).

Quadro 3 – Períodos de colheita dos cenários escolhidos por cultura, segundo legenda do Quadro 2.

janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
Cana-de-açúcar+ sorgo sacarino											
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mandioca +sorgo sacarino											
	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Batata-doce +sorgo sacarino											
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mandioca +sorgo sacarino + cana-de-açúcar											
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Batata-doce + sorgo sacarino + cana-de-açúcar											
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fonte: Canova (2011).

De acordo com Canova (2011), a produção de álcool combustível a partir de amiláceas deverá gerar impacto tecnológico nas diferentes etapas da cadeia produtiva (cultura e manejo no campo, genótipos eficientes, na indústria e nos subprodutos). Está tecnologia servirá como alternativa para regiões do País como o Rio Grande do Sul, onde as amiláceas apresentam alta produtividade, atendendo as demandas de uma nova cadeia produtiva e suprimindo a falta de combustível no Estado, contribuindo com as preocupações à oferta de combustíveis fósseis e com a diminuição da poluição atmosférica.

No estado do Rio Grande do Sul, no município de Santa Maria, região central do Estado, Taborda et al. (2015) estudou a viabilidade técnica e econômica de produção de

etanol combustível empregando a amilácea batata-doce, sendo processado na Usina Piloto de Etanol do Colégio Politécnico da Universidade Federal. Os resultados apresentam viabilidade técnica, de 1 tonelada foram obtidos 190 litros de etanol hidratado a 92 °GL e, sob o ponto de vista econômico, os custos industriais obtidos foram de R\$ 0,96 por litro de etanol hidratado, deste valor 35,40% correspondeu à contribuição do custo da matéria-prima e 64,60% na contribuição do custo de processamento.

Na aplicação do custeio baseado em atividades (ABC) conclui-se que o principal elemento de despesa foi a mão de obra (37%), seguido dos insumos com 26%. Em relação às atividades, a que apresentou mais dispêndio foi a destilação (35%), seguido da hidrólise (19%) e geração de vapor (17%). Tanto tecnicamente como economicamente a implantação de uma pequena unidade industrial não exige capacidade de economia de escala, ou seja, os investimentos são suportáveis por uma pequena propriedade agrícola. O processo revela-se flexível, permitindo a utilização da mesma unidade industrial com matriz diversificada de produtos agrícolas, característica que permite estabilidade de produção nas várias estações do ano e reduz o risco da dependência de uma só cultura (TABORDA et al., 2015).

Três usinas piloto com capacidade de processar matérias-primas de fonte amilácea para a produção de etanol já estão em funcionamento no Brasil, uma delas inaugurada em 2006 junto à UFT (Campus de Palmas-TO), a outra em 2007 junto à Embrapa-Hortaliças (Brasília-DF) e em 2014 foi instalada outra na UFT (MALUF, 2014).

A utilização da batata-doce como matéria-prima para a produção de biocombustível trará para a indústria alcooleira algumas vantagens: (a) diminuição da dependência, da virtual monocultura da cana-de-açúcar, frequentemente sujeita a acidentes climáticos (excesso ou falta de chuvas) que impactam negativamente a oferta de etanol; (b) produção de etanol em áreas marginais para o plantio de cana-de-açúcar; (c) produção de etanol por maior número de meses no ano (usando a batata-doce como matéria-prima), utilizando períodos (entressafra da cana) em que as usinas estariam ociosas; (d) alternativa de rotação de cultura para a cana-de-açúcar, particularmente na fase de renovação dos canaviais; (e) estabelecimento de eficiente sistema de produção agricultura-pecuária-agroindústria, com aproveitamento integral de resíduos ou coprodutos. A batata-doce não deve, portanto ser encarada como mera alternativa à cana-de-açúcar para a produção de etanol, mas como uma das partes integrantes do sistema sinérgico cana/batata-doce de produção (MALUF, 2014).

3 ARTIGO 1 – IRRIGATION DEPTH AND HARVEST DATE IN SWEET POTATO FOR CONVERSION TO BIOFUELS¹

3.1 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of different irrigation depths and harvest dates in sweet potato for conversion to biofuels. Irrigation treatments were 0.25, 0.50, 0.75, and 1.0 of crop evapotranspiration rates and a control treatment (without irrigation). Harvest dates were: 90, 120, 150, 180, and 210 days after planting (DAP). The sweet potato cultivar BRS Cuia (RNC-27.315) was utilized. The experimental design was a randomized block in factorial arrangement (irrigation depths combined with harvest dates) with four replications. Reference crop evaporation was calculated based on the method of FAO Penman-Monteith. Drip irrigation system was used and irrigation frequency was every seven days. The highest and lowest yield were at 90 and 210 DAP, respectively. The lowest yield variation was between 120 and 150 DAP. Control treatment had highest yield in all harvest dates. Efficient water use was greater with irrigation of 0.25 of ET_c with 116.9 and 218.8 m³ ha at 90 and 210 DAP, respectively. Starch content, crude protein, length and diameter of the root, and yield were influenced by different irrigation depths and harvest dates.

Key words: *Ipomoea batatas*, irrigation management, ethanol feedstock, drip irrigation, water deficit, efficient irrigation strategies.

3.2 INTRODUCTION

Sweet potato (*Ipomoea batatas*) had an average yield of 9.13 t ha⁻¹ in a planted area of 500,350 ha, during 2013 in Brazil. The southern region is the main producer, accounting for 45% of production with 227,354 t. The state of Rio Grande do Sul produced 166,354 t, with an average productivity of 13.42 t ha⁻¹, which represents 73.9% of the southern region and 32.9% of the whole country production (IBGE, 2013).

In 2009, world production was 102.7 million t cultivated in an area of 8.0 million ha, which provide an average yield of 12.8 t ha⁻¹ (FAO, 2012). China is the largest producer, with a total production of 3.7 million t and an average yield of 23.1 t ha⁻¹ (FAO, 2010).

¹ Artigo publicado em 22 de dezembro de 2016 na Revista African Journal of Agricultural Research, volume 11, número 51, páginas 5116-5123, DOI: 0.5897/AJAR2016.11754.

Searching for new raw materials produced from biomass for production of clean and renewable fuels has received great attention. The ethanol production has become an international priority, which will redefine a new geopolitical position due to the entry of countries in the biofuel production route (Silveira et al., 2008; Santana et al., 2013). According to Souza (2005), the ethanol production from starch has been studied in countries holding high technology, such as Germany, Belgium, Denmark, United States, Canada, and China. Among other reasons, sweet potato has great biomass yield to obtain ethanol, associated with planting hardiness and two annual harvests. The ethanol derived from sweet potato is very competitive in terms of yields in comparison with sugarcane, with a production of 170 L t^{-1} , compared with only 80 L t^{-1} from the sugarcane ethanol (Silveira, 2008). The crop can be an alternative to the ethanol plants and farmers during the growing season after the sugarcane planting (Pavlak et al., 2011).

The water resources for agriculture are declining and the population continues to grow. Proper management and irrigation water quality have fundamental importance for achieving high yield, quality, cost reduction, and rational water use (Padrón et al., 2015a).

Regarding the need of raw materials diversification for the production of biofuels, sweet potato appears as an alternative for having a high starch production potential. Moreover, this crop can be used in the sugarcane off-season and also in regions where the weather conditions are not adequate for sugarcane planting. In this context, this study aimed to evaluate the effect of different irrigation depths and harvest dates in sweet potato for conversion to biofuels in Santa Maria-RS, Brazil.

3.3 MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in a field at the experimental area of the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS), Brazil, located at $29^{\circ}41'25''\text{S}$, $53^{\circ}48'42''\text{W}$, and altitude of 110 m, during the periods of 2013-2014 and 2014-2015. The predominant soil in the region is Paleudalf and shows a frank texture, according to Soil Taxonomy (USDA, 1999). According to the Köppen-Geiger climate classification, the climate of the region is humid subtropical (Cfa). Rainfall, minimum, average, and maximum temperature are shown in Figure 1. Among 2013-2014 and 2014-2015 periods, the minimum, average, and maximum temperature ranged from 13.8, 16.2, 12.3 and 7.0; 15.6 and 9.6°C, respectively, showing greater variation in the first period. The maximum rainfall obtained in the 2013-2014 period was in June and during 2014-2015 period in January, and the minimum

rainfall was in December in both periods.

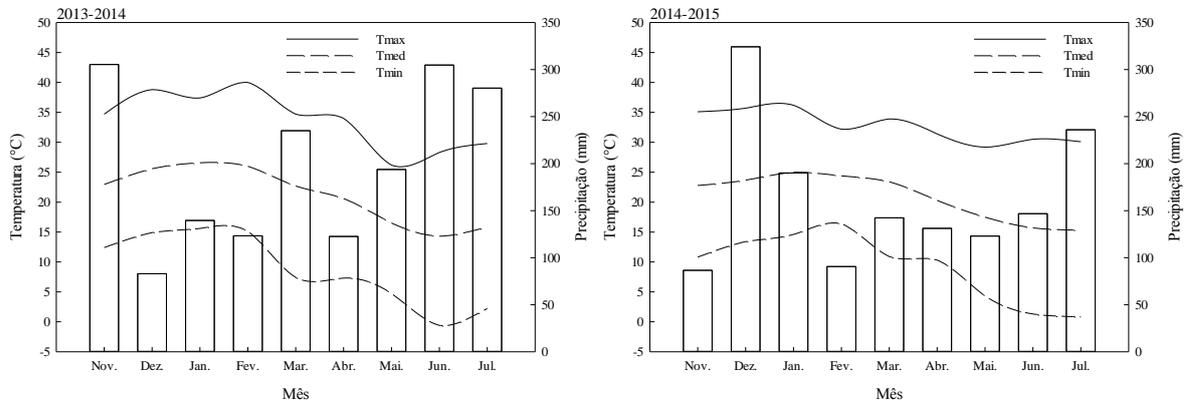


Figure 1. Climograph of experimental area during the 2013-2014 and 2014-2015 periods.

The experimental design was a randomized block in a factorial design with four replications, where the factors were the irrigation depths and harvest dates. The treatments consisted of applying supplementary irrigation depths: 0.25, 0.50, 0.75, and 1.0 of reference evapotranspiration and a control treatment (without irrigation). The harvest dates were: 90, 120, 150, 180, and 210 Days after Planting (DAP). The experimental unit consisted of 20 m² (4x5 m), and 400 m² of total experimental area, without plants on the border. The sweet potato cultivar used was BRS Cuia variety (RNC-27,315), which is commonly utilized in the region and launched by Embrapa in 2011 as a variety developed for the State of Rio Grande do Sul (Castro et al., 2011). Planting was carried out in December 2013 and November 2014, with spacing of 1 m between rows and 0.4 m between plants, totaling 1,000 plants and plant density of 2.5 m⁻².

Localized drip irrigation was used with spacing of 0.20 m between drippers and flow of 0.8 L h⁻¹. One spherical gate to regulate the irrigation times and one pressure control valve to obtain regular pressure were installed in each experimental unit. The irrigation strategy consisted of keeping soil moisture at field capacity from planting to 20 DAP, ensuring the establishment of seedlings. Irrigation treatments were applied after the initial phenological stage (20 DAP) with irrigation frequency of every seven days and irrigation continued until 90 DAP. The reference evapotranspiration (ET_o) was calculated based on the methodology of Penman-Monteith/FAO (Equation 1), and the crop evapotranspiration (ET_c) at a standard condition was based on Equation 2 (Allen et al., 1998). Climate data were obtained from the weather station of the Federal University of Santa Maria, linked to the National Institute of

Meteorology, localized approximately 2000 m from the experimental area. Rainfall (mm), maximum and minimum temperature (°C), maximum and minimum relative air humidity (%), insolation (hours), and wind speed (m s^{-1}) were collected daily.

$$ET_o = \frac{0.4088 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (2)$$

When ET_o is the reference evapotranspiration (mm day^{-1}), R_n is net radiation value at crop surface ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$), G is soil heat flux density ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$), and T is daily mean air temperature at 2 m height (°C). Also, U_2 , e_s , e_a , Δ , and γ represent wind speed at two meters (m s^{-1}), saturation vapor pressure (kPa), actual vapor pressure (kPa), slope of the saturation vapor pressure curve ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), and psychrometric constant ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), respectively. Conversion factor for the term $(R_n - G)$ of ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) to (mm dia^{-1}) was 0.408. Moreover, ET_c stands for crop evapotranspiration (mm) and k_c is the single crop coefficient. The chemical analysis of soil was determined in soil laboratory of Rural Science Center (UFESM). Bulk density, field capacity and infiltration test were performed in field as reported in (Padrón et al., 2015b) (Table 1).

Table 1. Soil attributes of the experimental area.

Soil layers (m)	pH água	Ca	Mg	Al	(H+Al)	CEC efet.	Saturation (%)		Index SMP	OM	S	P-Mehlich
		----- $\text{cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ -----					Al	Base		(%)	---- mg dm^{-3} ----	
0-0.2	5.8	9.7	3.5	0.2	3.9	13.8	1.6	76.1	6.2	3.3	11.0	14.2
0.2-0.3	5.2	8.5	2.4	0.8	6.6	12.0	7.9	63.4	5.8	2.5	7.1	11.5
		Bulk density (g cm^{-3})		Field capacity ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)		Infiltration (mm h^{-1})		Texture				
0-0.2		1.42		0.31		15.0		Loam				
0.2-0.3		1.38		0.34				Clay-loam				

Root mass yield was evaluated in ten plants per plot in each harvest. Also, the length and diameter of the root were evaluated in each harvest, using digital caliper. For root development comparison in each crop, the roots were ranked in commercial production (200 g to 500 g) and industrial production (less than 200 g and greater than 500 g). The chemical analysis of the root: starch and protein, content were evaluated in three plants in each harvest,

obtaining a composed sample. The samples were evaluated in the Pisciculture Laboratory of UFSM, using the method of AOAC 996.11 adapted by (Walter et al., 2005). Furthermore, the Water productivity (WP), with total yield (kg ha^{-1}) divided by evapotranspiration (mm) (Equation 3) and irrigation water productivity (IWP), with the fresh total yield (kg ha^{-1}) divided by total irrigation water applied (Equation 4) (Padrón et al., 2015c).

$$\text{WP} = \frac{\text{Total yield (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{evapotranspiration (mm)}} \quad (3)$$

$$\text{IWP} = \text{Total yield (kg ha}^{-1}\text{)} / \text{Irrigation water applied (mm)} \quad (4)$$

The main tasks of agronomic management were: applied 3.5 t ha^{-1} of dolomitic lime to correct pH, distributed to haul and embedded with grid, fertilization (47.5 kg ha^{-1} of urea, 225 kg ha^{-1} of triple superphosphate 42% P, and 262.5 kg ha^{-1} of potassium chloride), weed control, and spraying of insecticide and fungicide. Statistical analysis was performed using SPSS[®] software, version 20. Comparison of means was performed by Tukey test at 5% probability. Data were clustered if not presented interactions among the years.

3.4 RESULTS AND DISCUSSION

The evapotranspiration, number of irrigations, and applied irrigation for the periods of the experiment are presented in Table 2. Comparing the periods of trials, the difference of irrigation depth of 100% ETc was 62.6 mm and 2 days in the number of irrigations. The period of 2013-2014 showed a lower number of irrigation days but greater irrigation depth applied compared to the 2014-2015 period. It can be inferred that this difference occurred due to weather conditions, temperature, and rainfall. The maximum cumulative evapotranspiration was higher in the 2014-2015 period, showing a difference of 40.1 mm, being different in the first two harvests at 90 and 120 days after planting (DAP). Nogueira et al. (2015) determined the evapotranspiration and irrigation depth for sweet potato with 125 DAP in locality of Santa Maria-RS during a period of 20 years, obtaining an average of 562.2 mm and 266.6 mm, respectively.

Table 2. Evapotranspiration, irrigation depth, and number of irrigations in the experimental periods.

Treatment	Period 2013-2014					Irrigation depth (mm)	Number of irrigations (days)
	ETc (mm)						
	Days after planting						
	90	120	150	180	210		
T _{0.25}	107.1	129.4	140.6	147.4	154.4	83.9	14
T _{0.50}	214.3	258.9	281.2	294.8	308.9	167.9	
T _{0.75}	321.4	388.3	421.8	442.2	463.3	251.8	
T _{1.0}	428.5	517.7	562.4	589.6	617.8	335.7	
Period 2014-2015							
T _{0.25}	99.0	127.8	144.9	156.8	164.5	68.3	16
T _{0.50}	198.0	255.5	289.8	313.6	328.9	136.6	
T _{0.75}	297.0	383.3	434.6	470.4	493.4	204.8	
T _{1.0}	396.0	511.0	579.5	627.2	657.9	273.1	

The accumulated rainfall at each harvest date are shown in Table 3. The greater cumulative rainfall was in the 2013-2014 period. The greater variation was from 180 to 210 DAP, with 367.8 mm and between 90 and 120 DAP, with 279.4 mm. The 2014-2015 period the greater variation was of 127.4 mm from 180 to 210 DAP and between 90 and 120 DAP, with 115.2 mm.

Table 3. Accumulated rainfall (mm) in the experimental period.

Period	Days after planting				
	90	120	150	180	210
2013-2014	302.8	582.2	696.6	866.2	1,234.0
2014-2015	565.8	681.0	862.6	930.4	1,057.8

Yield in terms of harvest dates and irrigation depths are shown in Figure 2. Statistical analysis showed interaction among irrigation depths and harvest dates. The lowest yield was at 90 DAP and showed a statistically significant difference at the level of 5% probability between treatments. The yield increased during the period of 90 to 210 DAP in 21, 23, 20, 20, and 20 t ha⁻¹; from 120 to 210 DAP in 5, 7, 8, 6, and 11 t ha⁻¹; from 150 to 210 DAP in 3, 5, 4, 5, and 8 t ha⁻¹ at T₀, T_{0.25}, T_{0.50}, T_{0.75}, and T_{1.0}, respectively, with the greater variation during the periods described in T_{0.25}, T_{1.0} e T_{1.0}, respectively. The 210 DAP period showed greater yield, even when the period of 120 to 150 DAP was the period which demonstrated the lowest variation in reference to 210 DAP. It can be inferred that for this variety and these study conditions, the optimal harvest date was between 120 and 150 DAP, agreeing with Castro et

al. (2011), which commented that the harvest period for variety BRS Cuia is between 120 and 140 DAP, with planting from August for this region.

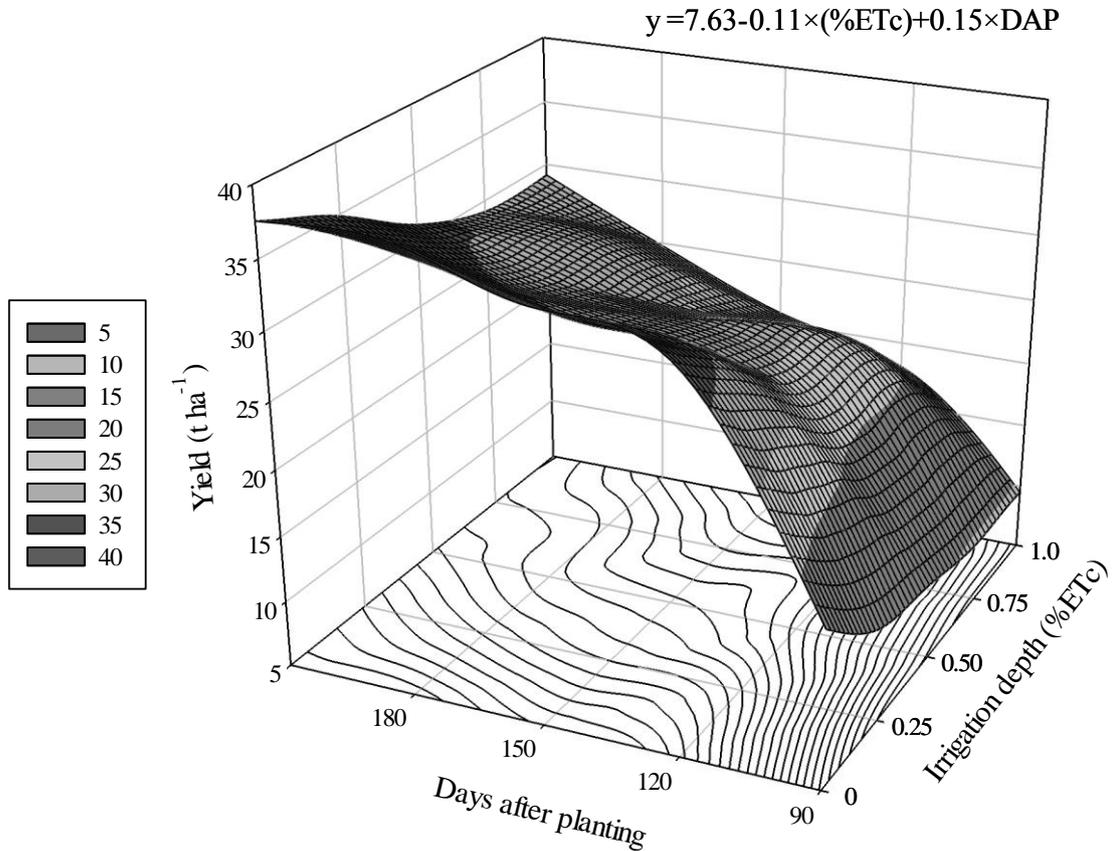


Figure 2. Yield response surface of sweet potato according to the harvest dates and irrigation depths.

In all harvests, the highest yield was at T_0 and the smallest in $T_{1.0}$. With this climatic conditions and soil characteristics (moisture retention and texture), irrigation influenced the crop yield during the study period. However, irrigation is necessary in prolonged periods of dry weather. Also, greater vegetative development was observed in treatments under irrigation in comparison to T_0 . In the study area, Erpen et al. (2013) used the sweet potato variety Princess and recommended supplementary irrigation only after long periods without rainfall of 10 to 15 days. Mantovani et al. (2013) studied different water depths (50, 75, 100, and 125% of ETc) in two fresh potato cultivars (Amanda and Duda) and they concluded that increasing water depth resulted in increased yield of tuberous roots of both cultivars. However, this increase was not linear, reaching a maximum yield of 49.8 t ha⁻¹ with application of 325.5 mm for Amanda cultivar and 67.1 t ha⁻¹ with the application of 347.0 mm

for Duda.

Moreover, the maximum efficiency in the water use for sweet potato cultivars was reported as 237 and 146 m³ ha⁻¹, for Amanda and Duda, respectively. Also, Júnior et al. (2009) studied the same sweet potato cultivars (Amanda and Duda) in rainfed condition and they found productivities ranging from 22.0 to 45.4 t ha⁻¹. Cardoso et al. (2005) evaluated traits of tuberous roots of 16 sweet potato clones and they observed maximum yield of 28.5 t ha⁻¹, fresh matter of 14.1 t ha⁻¹, and commercial root yield of 21.3 t ha⁻¹. Queiroga et al. (2007) assessed the physiology and production of sweet potato cultivars in function of harvest date and they obtained the highest total yield values (20.7 t ha⁻¹) and commercial roots (17.7 t ha⁻¹) at 155 DAP.

Miranda (2006) evaluated sweet potato clones and obtained root yield of 25 t ha⁻¹ with the Brazlândia Roxa cultivar and 33 t ha⁻¹ with the Brazlândia Rosada cultivar at 150 DAP. In Porteirinha-MG, Resende (1999) assessed eight sweet potato cultivars and recorded average commercial roots yield of 17.5 and 10.8 t ha⁻¹ in conditions of supplementary irrigation and rainfed, respectively. Also, in the northern region of Minas Gerais, Resende (1999) studied sweet potato cultivars under irrigated conditions and rainfed. The Brazlândia Branca cultivar stood out for its commercial yield (22.3 t ha⁻¹), followed by the cultivars Paulistinha (21.3 t ha⁻¹) and Princesa (19.0 t ha⁻¹), which showed no significant differences among themselves. Moreover, the lowest yield was obtained by the cultivar Brazlândia Roxa (13.5 t ha⁻¹), which showed no significant differences with the cultivars Coquinho, Rama Roxa, Arroba, and Brazlândia Rosada. Probably, the low yield occurred in the period of 150 DAP because it is considered insufficient for its full vegetative growth, resulting in greater-yielding of scrap roots (7.2 t ha⁻¹), and roots with weight below 80 g. Peixoto et al. (1989) found that the Brazlândia Roxa was the later cultivar and it showed the highest yield of scrap when harvested at 152 days. Regarding to rainfed experiment, there was a commercial yield ranging from 8.2 to 17.6 t ha⁻¹. Moreover, Thompson, Smittle and Hall (1992) comment that marketable yields increased with applied irrigation amounts until a total water application of 76% of pan evaporation was reached and then decreased rapidly with applied irrigation amounts. Weight loss and decay of roots during storage showed quadratic responses to irrigation amounts and were minimal at the irrigation level of maximum yields.

Water productivity (WP) and irrigation water productivity (IWP) depending on the harvest dates and irrigation depths is shown in Table 4. The WP decreased as water depth increased from T_{0.25} to T_{1.0}. The WP was higher in T_{0.25} due to the yield increase and it showed the highest values between 120 and 150 DAP, agreeing with the optimal harvest

period. The difference in WP of 150-210 DAP, ranged from 4.3 to 20%, in $T_{0.25}$ and $T_{1.0}$, respectively. WP at T_0 was similar to $T_{0.75}$ due to the increase in yield in T_0 and the decrease in $T_{0.75}$. Mantovani et al. (2013) studied different irrigation depths and efficient water use in two sweet potato cultivars and they claimed that the increase in the applied water depth resulted in increased water use efficiency up to a maximum of 16.1 kg m^{-3} , with the application of 301.8 mm for the Amanda cultivar and 20.0 kg m^{-3} , with the application of 332.4 mm for Duda cultivar. Therefore, these values represent the depth of maximum water use by the studied sweet potato cultivars.

Table 4. Water productivity and irrigation water productivity of sweet potato as a function of the harvest dates and irrigation depths.

Treatment	Water productivity(*) and irrigation water productivity (kg m^{-3})				
	Days after planting				
	90	120	150	180	210
T_0 (*)	40.6	63.0	61.0	61.8	58.9
$T_{0.25}$	116.9	218.7	210.0	209.3	218.8
$T_{0.50}$	52.5	92.0	95.4	93.3	97.9
$T_{0.75}$	30.9	59.7	55.9	60.8	61.0
$T_{1.0}$	22.9	35.2	36.5	40.7	45.7

The root diameter and length of sweet potato as a function of the harvest dates and irrigation depths are shown in Figure 3. The largest diameters were found at 90, 120, and 210 DAP in T_0 and the lowest diameter was found at 90 DAP in $T_{0.5}$. The largest length was at 210 DAP in $T_{0.5}$. Regarding the values, the lower length values were observed in the roots with greater diameter values. Moreira et al. (2011) studied morphophysiological and productive traits of eight sweet potato cultivars. They observed that Paraná and Coquinho cultivars obtained the lowest length values, with 8.5 and 8.3 cm, respectively, and with the largest diameter values (5.7 cm in both cultivars). Meantime, the roots of ESAM 2 cultivar, which is included in the group of the longest roots (12.3 to 12.1 cm), were thinner (4.4 cm). Cardoso et al. (2005) evaluated 16 sweet potato clones and also evidenced this behavior and this clones had a mean length value of the roots of 13.9 cm.

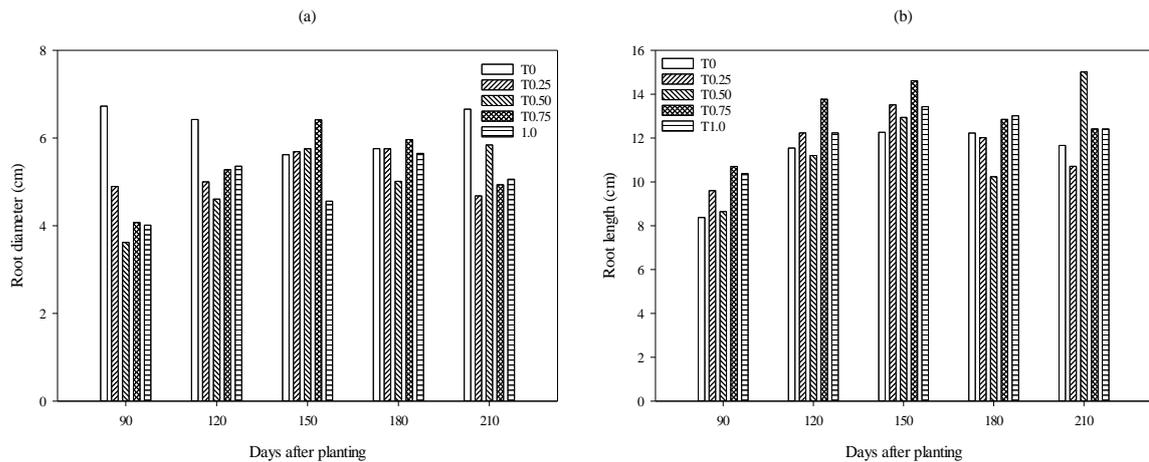


Figure 3. (a) The diameter and (b) length of sweet potato root according to harvest dates and irrigation depths.

The sweet potato root classification according to harvest dates and irrigation depths is shown in Figure 4. In this research, only two classifications (Industrial and Commercial) were done because the ethanol industry processes any type of classification. At all harvest dates and irrigation depths, industrial production exceeded the commercial one. Resende (2000) reported the harvest date influence on sweet potato cultivars under rainfed conditions performing harvests at 150 and 200 DAP. The authors assessed the following traits: commercial yield (roots weighing 100 to 800 g), scrap (roots below 100 g, cracked, deformed, greenish, brocade, and with veins), medium weight of commercial root, and commercial roots classification in percentage (Type 1- roots weighing 100 to 400 g and Type 2- roots weighing 400 to 800 g). Silva and Lopes (1995) verified that the harvest date did not change the commercial roots weight. However, they observed significant effect among cultivars, wherein the ESAM 3 had 257.0 g per commercial root, higher than the roots weight of the other cultivars and it was classified as Extra A, having possibly better commercial acceptance. Silva et al. (2015) studied the sweet potato cultivars performance for traits related to the root yield. In 2012, the authors observed that Beauregard cultivar stood out for the number and weight of roots. However, this cultivar did not show the greater values for average commercial roots weight that year, averaging 390 g. Good performance for these traits was repeated in 2013, along with the BRS Rubissol cultivar. The average commercial roots weight, the average value presented by the cultivars was 470 g in 2012, and 440 g in 2013. Those values were slightly above the ideal commercial size, which is 200 to 400 g (Miranda, 1989). Thus, the harvest date can be advanced for these cultivars, although the optimal size may vary depending on market requirements (Queiroga et al., 2007).

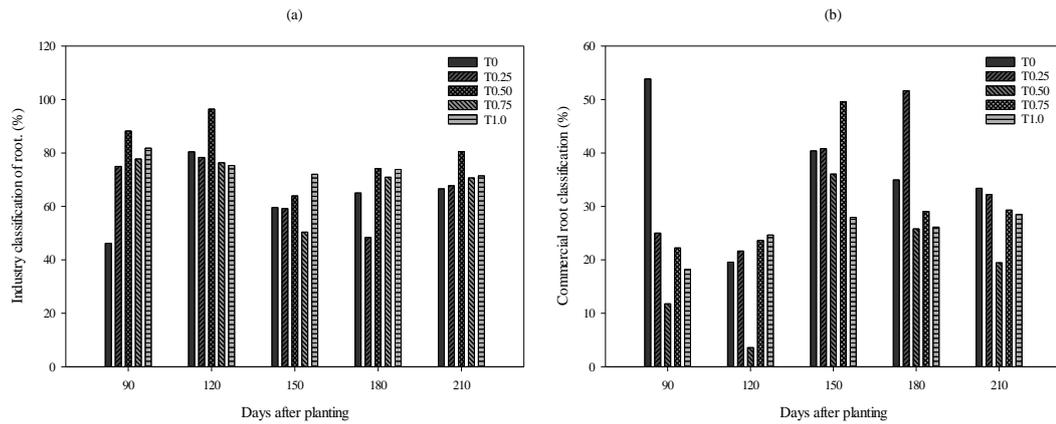


Figure 4. Classification of (a) industrial and (b) commercial roots of sweet potato according to harvest dates and irrigation depths.

The total starch and crude protein in dry matter in function of harvest dates and irrigation depths are shown in Table 5. Starch content and crude protein were influenced by harvest dates and irrigation depths. In all treatments, starch content and crude protein were increased up to 150 DAP, showing the highest concentration at this date. Thereafter, they began to decline, where the starch content obtained lower values at 90 DAP. The irrigation depth influenced the starch content and crude protein, with the highest and lowest values of starch content in $T_{1.0}$ (150 DAP) and T_0 (210 DAP) and crude protein in $T_{0.75}$ (150 DAP) and T_0 (90 DAP), respectively. Tubers presented starch granules and variable amounts of sugar, depending on environmental conditions, harvest dates, and variety.

Table 5. Total starch and crude protein (CP) in dry matter of sweet potato according to harvest dates and irrigation depths.

Treatment	Days after planting									
	90		120		150		180		210	
	Starch	CP	Starch	PB	Starch	PB	Starch	PB	Starch	PB
T_0	65.8	2.9	67.1	3.3	71.7	3.6	52.3	3.1	54.6	3.5
$T_{0.25}$	68.1	3.7	69.2	3.8	73.8	3.7	58.6	3.8	66.5	4.4
$T_{0.50}$	66.4	3.4	67.9	3.5	72.1	3.4	64.0	3.5	60.1	3.5
$T_{0.75}$	62.6	4.8	63.6	4.9	67.4	5.5	67.9	4.3	59.8	3.9
$T_{1.0}$	69.9	3.7	70.5	3.9	74.9	4.7	63.4	3.1	60.1	4.2

As stated in Braun et al. (2010), starch corresponds from 60 to 80% of dry matter and sugars: glucose, fructose, and sucrose are the major carbohydrates present in the tubers. As reported by Silveira (2008), the conversion into ethanol takes around 160 L t^{-1} for sweet potato clone samples with an average yield of 65.5 t ha^{-1} and average starch concentration of

24.4% in natural weight (NW). Starch content in plant roots may fluctuate depending on the fertilization. Therefore, the study and knowledge of the influence of this factor in the accumulation of starch content in plant roots will provide quality and yield improvements (Malavolta, 2006). Júnior et al. (2012) in the study of productive and qualitative characteristics of vines and roots of sweet potato, the crude protein contents in the roots of the evaluated genotypes were similar among themselves and ranged from 3.9 to 4.6% and they were also similar to the results found by Leonel et al. (1998), which reported crude protein content of 4.6% and higher than those found by Batistuti et al. (1992), of 1.1 to 1.7%, analyzing eight sweet potato cultivars. Lázari (2011) evaluated agronomic and physicochemical traits of 100 industrial sweet potato accesses of the breeding program in laboratory. They used fermenting measurer and obtained average ethanol yields of 151.67 and 234.33 L t⁻¹ of root. Moreover, Thompson et al. (1992) comment that the glucose content was maximum at a total water amount of 94% of pan evaporation and fructose content decreased with increased amounts of irrigation.

3.5 CONCLUSIONS

Sweet potato was influenced by different applied irrigation depths and harvest dates, with an increase in starch content and a decrease in yield. The best harvest date was among 120 to 150 days after planting, where the variety demonstrated the highest yield potential in all evaluated variables. The most efficient water productivity was in the treatment 0.25 of evapotranspiration. In the studied conditions, sweet potato did not require irrigation with the established strategy, but more research is necessary on other frequencies and irrigation strategies. Due to the hardiness of the crop, low cost management, short cycle, and good starch production, sweet potato demonstrates feasibility for conversion to biofuels, being an alternative to the diversification of energy sources.

3.6 CONFLICT OF INTEREST

The authors have not declared any conflict of interests.

3.7 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria by for support.

REFERENCES

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO- Irrigation and Drainage Paper 56, Rome:FAO, 323p.
- Batistuti JP, Valim MFCFA, Camara FLA (1992). Evaluation of the chemical composition of the tubers and the starch of the different cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam.). Ver. Bras. de Ciênc. Farmacêuticas, 14:205-214.
- Batistuti JP, Valim MFCFA, Camara FLA (1992). Evaluation of the chemical composition of the tubers and the starch of the different cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam.). Ver. Bras. de Ciênc. Farmacêuticas, 14:205-214.
- Braun H, Fontes PCR, Finger FL, Busato C, Cecon PR (2010). Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. Ciênc. e Agrotecnol. 34(2):285-293.
- Cardoso AD, Viana ES, Ramos PAS, Matsumoto SN, Amaral CLF, Sedyama T, Moraes OM (2005). Avaliação de clones de batata-doce em Vitória da Conquista. Hortic. Bras. 23(4):911-914.
- Castro LAS, Treptow RO, Becker A, Oliveira RP, Campos AD, Schoer E, Scivittaro WB, Melo M, Emygdio BM, Dutra L (2011). Cultivar de batata-doce BRS-cuia. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Rio Grande do Sul, (Documento, 352), 23 p.
- Erpen L, Streck NA, Uhlmann LO, Freitas CPO, Andriolo JL (2013). Tuberação e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. Bragantia, 72(4):396-402.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010). FAOSTAT, Rome. Available in: <http://faostat.fao.org/site/>. Access: 03 ago. 2011.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2012). Agricultural production, primary crops, Roma. Available in: <http://www.fao.org>. Access: 10 set. 2012.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013). Produção agrícola municipal. Culturas temporárias e permanentes, Rio de Janeiro, 40:102.
- Júnior VCA, Viana DJS, Fernandes JSC, Figueiredo JA, Nunes UR, Neiva IP (2009). Selection of sweet potato clones for the region Alto Vale do Jequitinhonha. Hortic. Bras. 27(3):389-393.

Júnior VCA, Viana DJS, Pinto NAVD, Ribeiro KG, Pereira RC, Neiva IP, Azevedo AM, Andrade PCR (2012). Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. *Hortic. Bras.* 30(4):584-589.

Lázari TM (2011). Avaliação das características agronômicas e físico-químicas de clones de batata-doce, suas correlações e implicações no rendimento de etanol. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Tocantins.

Leonel M, Jackey S, Cereda MP (1998). Processamento industrial de fécula de mandioca e batata-doce - Um estudo de caso. *Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Food Science and Technology*, 18(3):343-345.

Malavolta E (2006). Manual de Nutrição Mineral de Plantas. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 638 p.

Mantovani EC, Delazari FT, Dias LE, Assis IR, Vieira GHS, Landim FM (2013). Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. *Hortic. Bras.* 31(4): 602-606.

Miranda JEC (1989). Brazlândia Roxa, Brazlândia Branca, Brazlândia Rosada e Coquinho: novas cultivares de batata-doce. *Hortic. Bras.* 7(1):32-33.

Miranda JEC (2006). Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. Embrapa Hortaliças, 10 de abril de 2006. Available in: www.cnph.embrapa.br. Access: 24 de maio de 2016.

Moreira JN, Queiroga RCF, Júnior AJLS, Santos MA (2011). Caracteres morfofisiológicos e produtivos de cultivares de batata-doce, em Mossoró-RN. Grupo Verde de Agricultura Alternativa (GVAA). *Rev. Verde de Agroecol. e Desenvol. Sustentável*, 6(1):161-167.

Nogueira CU, Padrón RAR, Nogueira HMCM, Cerquera RR, Kopp LM (2015). Necessidades hídrica na cultura da batata-doce em diferentes localidades e épocas de plantio. *Acta Iguazu*, 4(3): 66-77.

Padrón RAR, Ramírez LR, Cerquera RR, Nogueira HMCM, Mujica JLU (2015a) Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. *Tecnol. Ciênc. Agropec.* 9(2):49-55.

Padrón RAR, Nogueira HMCM, Cerquera RR, Albino GD, Nogueira CU (2015b) Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. *Acta Iguazu*, 4(1):36-47.

Padrón RAR, Guedes JVC, Swarowsky A, Nogueira CU, Cerquera RR, Díaz-Pérez JC (2015c). Supplemental irrigation levels in bell pepper under shade mesh and in open-field: Crop coefficient, yield, fruit quality and water productivity. *Afr. J. Agric. Res.*, 10(44):4117-4125.

Pavlak MCM, Abreu-Lima TL, Carreiro SC (2011). Estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*. *Química Nova*, São Paulo, 34(1):82-86.

Peixoto N, Miranda JEC, Filgueira FAR, Câmara FLA (1989). Avaliação de clones de batata-doce em Goiás. Goiânia: EMGOPA-DDI, 12 p. (Boletim de Pesquisa, 16), Goiás.

Queiroga RCF, Santos MA, Menezes MA, Vieira CPG, Silva MC (2007). Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. *Hortic. Bras.* 25(3):371-374.

Resende GM (1999). Características produtivas de cultivares de batata-doce sob condições irrigadas e de sequeiro na região norte de Minas Gerais. *Hortic. Bras.* 17(2):151-154.

Resende GM (2000). Influência de épocas de colheita sobre cultivares de batata-doce em condições de sequeiro. *Ciênc. e Agrotecnol.* 24(30):646-652.

Santana WR, Martins LP, Silveira MA, Santos WF, Gonçalves RC, Souza, FR, Resplandes GRS, Lima MM (2013). Identificação agronômica de genótipos de batata-doce em banco de germoplasma para fins industriais de etanol carburante. *Tecnol. Ciênc. Agropec.* 7(1):31-34.

Silva JBC, Lopes CA (1995). Cultura de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. Brasília: EMBRAPA - CNPA, 18 p. (Instruções técnicas - EMBRAPA - CNPH, 7).

Silva GO, Suinaga FA, Ponijaleki R, Amaro GB (2015). Desempenho de cultivares de batata-doce para caracteres relacionados com o rendimento de raiz. *Rev. Ceres*, 62(4):379-383.

Silveira MA (2008). Álcool Combustível - Série Indústria em Perspectiva. Batata-doce: Uma Nova Alternativa para a Produção de Etanol, Confederação Nacional da Indústria. Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central, Brasília, 1:109-122.

Silveira MA, Souza FR, Alvim TC, Dias LE, Santana WR, Vital MKGS, Gouvêa GRSS, Costa DM (2008). A cultura de batata-doce como fonte de matéria prima para etanol. Laboratório de Sistemas de Produção de Energia a Partir de Fontes Renováveis - LASPER/UFT (Boletim Técnico UFT), Palmas, Tocantins, 44 p.

Souza AFBC (2005). Avaliação do processo de hidrólise e fermentativo de biomassa de batata-doce [*ipomoea batatas* (L.) Lam] por meio de células imobilizadas para produção de etanol. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Tocantins.

Thompson PG, Smittle DA, Hall MR. (1992). Relationship of sweetpotato yield and quality to amount of irrigation. *HortScience* 27(1):23-26

USDA - United States Department of Agriculture (1999). Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second Edition. By Soil Survey Staff. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook. Natural Resources Conservation Service, Number 436.

Walter M, Silva LP, Perdomo DMX (2005). Amido disponível e resistente em alimentos: adaptação do método da AOAC 996.11* Alimentos e Nutrição, Araraquara, São Paulo, 16(1):39-43.

4 ARTIGO 2 – SCALE-UP OF PROCESS FOR SIMULTANEOUS ENZYMATIC HYDROLYSIS AND FERMENTATION FOR ETHANOL PRODUCTION FROM SWEET POTATO FLOUR²

4.1 ABSTRACT

In this study was evaluated the simultaneous saccharification and fermentation of sweet potato flour for ethanol production. In the first step, the process was optimized in a laboratory bioreactor the process variables (solid concentration, enzyme concentration and temperature). Further, the optimized condition was validated in a pilot bioreactor com useful volume of 2,000 L. The yield obtained in the simultaneous saccharification and fermentation at pilot scale were compared with conventional starch hydrolysis process. Maximum ethanol yield obtained at pilot scale was 195 kg t⁻¹ of solids at 125 g L⁻¹ of sweet potato flour, 4 wt% of enzymes and 36 °C. This yield was similar to that obtained in laboratory bioreactor, validating the result. With this yield it was possible to produce 2,654 kg of ethanol per hectare. Sweet potato has demonstrate excellent raw material for ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation.

Key words: Sweet potato flour; SSF process; alternative raw material; biofuel.

4.2 INTRODUCTION

In the recent years research efforts has focused on the development of new basic inputs for ethanol production, which places biomass in a prominent role due to its renewable nature, wide availability, biodegradability and low cost (Suarez et al., 2007). Among them, sweet potato (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)), is a vegetable species that can present good perspectives for the production of biofuel, due to high production of biomass, does not require large areas of planting and can be produced in less fertile soils. Another great advantage is the fact that it requires a relatively small investment and its waste can be used in animal feed (Silveira, 2008; Castro; Emygdio, 2009).

² Artigo submetido em 24 de agosto de 2017 na Revista Biosystems Engineering, YBENG_2017_709.

Nowadays, ethanol production processes from amylaceous sources such as corn, cassava, sweet potato and others, require the hydrolysis of these materials, in order to convert the starch into fermentable sugars, generally by means of an enzymatic process (Uthumporn et al., 2010). There are two main technological routes for the enzymatic hydrolysis of the starch. The conventional process occurs in three stages at high temperatures: gelatinization (swelling), liquefaction of starch by α -amylase and saccharification by the action of glucoamylase (Reguly, 1996). The second route is simultaneous hydrolysis and saccharification (SHF) of starch, conducted at a temperature of about 30°C in a single step. In this process, a mixture of α -amylase and glucoamylase enzymes, together with *Saccharomyces cerevisiae* yeasts are used simultaneously for ethanol production (Souza, 2006; Feltran; Valle, 2009).

In this context, the main objective of the present work was to evaluate the enzymatic hydrolysis and simultaneous fermentation of sweet potato flour for the production of ethanol. In the first step, the process was optimized in a laboratory scale bioreactor with a useful volume of 3 L and later the process was scaled to a pilot bioreactor with a useful volume of 2,000 L. The efficiency was compared with the traditional starch hydrolysis process.

4.3 MATERIALS AND METHODS

4.3.1 Materials

The yeast used in this study was the dehydrated *Saccharomyces cerevisiae* (Fleischmann), acquired in a local Market. The enzymes used were glucoamylase (AMG 300L - Novozymes, Brazil), α -amylase (Liquozyme Supra 2.2X - Novozymes, Brazil) and an enzymatic complex for granular starch hydrolysis (STARGENT™ 002 - Genencor, Brazil).

4.3.2 Raw material

The raw material used in this study was cultivated in the experimental area of the Polytechnic College of the Federal University of Santa Maria-RS, Brazil (Nogueira et al., 2016). The variety of sweet potato was the BRS Cuia (RNC-27.315), harvested 210 days after planting.

The sweet potatoes were washed for soil removal and then sliced using a slicer. The resulting mass was dried in an oven with air circulation at 65 °C for 72 hours. After drying,

the samples were milled in a cut mill to obtain potato flour. Sweet potato flour was kept at -12 °C until use.

4.3.3 Microorganism and inoculum preparation

Dehydrated yeast *Saccharomyces cerevisiae* (Fleischmann) was used as strain. The production of pre-inoculum cells was performed in Erlenmeyer flasks with 100 mL of medium containing (g L⁻¹): sucrose (20.0), yeast extract (5.0), K₂HPO₄ (5.0), NH₄Cl (1.5), KCl (1.15) and MgSO₄.7H₂O (0.65). The medium was inoculated with 1 g of yeast and maintained at 30°C, 150 rpm for 24 h.

4.3.4 Ethanol production

4.3.4.1 Laboratory scale

In this step, the effects of temperature, enzyme concentration and solids concentration were evaluated through a central composite rotational design (CCRD). Table 1 shows the range of each variable investigated in this study. The optimization was based on the analysis of desirability profiles estimated from quadratic models generated for each response. The optimized condition was that with the highest values for each one of the responses analyzed. In the optimized condition of the process, a kinetic was performed to evaluate the ethanol production as a function of the fermentation time.

The fermentations were carried out in a bioreactor (BIOTEC-C, Tecnal, Brazil) with 1 L of culture medium containing specified amount of sweet potato flour. The initial pH was adjusted to 5.2 and the temperature of the medium maintained at the value defined in the experimental design. At this time, 10% (v/v) of inoculum and the amount of enzyme corresponding to each experiment were added. The fermentations were performed at 150 rpm for 24 h. At the end of the process, the fermented broth was filtered (Whatman n° 2 filter paper) to remove the cells and the supernatant used for the quantification of the ethanol produced. The results were expressed as g [ethanol] kg⁻¹ [starch] and g [ethanol] kg⁻¹ [raw material], conversion (%) and mass of ethanol per batch.

4.3.4.2 Pilot scale

The optimized condition in the previous step (125 g L⁻¹ substrate, 35°C and 4% enzyme STARGENT™ 002) was used for scaling in a pilot bioreactor with a 2,000 L useful volume and provided with agitation and heating system. The volume of medium used in the fermentations was 600 L. The initial pH was adjusted to 5.2 and the medium temperature maintained at 35°C. At this time, 1% (w/v) dehydrated yeast and 4% enzyme were added. The fermentations were performed at 150 rpm for 48 h, and samples were withdrawn every 6 hours for kinetic determination. The results were expressed as g [ethanol] kg⁻¹ [starch] and g [ethanol] kg⁻¹ [raw material].

4.3.4.3 Conventional process in pilot scale

For sake of comparison with the simultaneous hydrolysis and fermentation process, a conventional pilot scale fermentation process was performed using 125 g L⁻¹ solids. The steps involved were gelling of the starch (90°C, 30 minutes, 4 mL of α -amylase per kg of raw material and pH 5.5), hydrolysis (60°C, 30 minutes, 4.8 ml of glucoamylase per kg of raw material and pH 7.5) and fermentation (35°C, 48 hours, 1% (w/v) dehydrated yeast and pH 5.2). At all stages stirring was kept constant at 150 rpm. Samples were withdrawn at 6 hour intervals to evaluate the kinetics of the process. The results were expressed as g [ethanol] kg⁻¹ [starch] and g [ethanol] kg⁻¹ [raw material].

4.3.5 Statistical analysis

The results of DCCR were analyzed using the Industrial Statistics and Six Sigma module of Statistica 7.0 software. The comparison of averages was made using the Tukey's test of the same software. The level of significance was 95% ($p < 0.05$) in all analyzes.

4.4 RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 presents the results obtained in the CCRD Matrix of Experimental Planning, with actual values for Enzymatic Hydrolysis and Fermentation. Among the experiments evaluated, the highest yield was 289.0 g of solids L⁻¹ and 400.8 g of starch kg⁻¹, with a conversion of 87.3%. On the other hand, the mass of ethanol produced by the batch was 14.5

g, due to the low concentration of solids used in the simultaneous hydrolysis and fermentation process.

A better evaluation of the influence of process variables on all responses studied may be obtained by the estimation of parameters of a quadratic model for each response. Table 2 presents the four models with significant terms ($p < 0.1$) as well as the ANOVA for each one. These models were used to predict the optimum condition for ethanol production by means of desirability profiles, which are expressed in Figure 1. Solids concentration didn't affect the yields and conversion, but at low values the mass of ethanol per batch is reduced. Enzyme concentration at values lower than 2.2 wt% and temperatures higher than 40°C impact negatively in all responses evaluated.

From Figure 1, the optimized condition for ethanol production was solid concentration of 125.0 g L⁻¹, enzyme STARGENT™ 002 concentration of 4.0 wt% and temperature of 35 °C. At this condition, yields were 250.0 g kg⁻¹ solids and 350 g kg⁻¹ starch, respectively, conversion was around 80% and mass of ethanol per batch 30 g.

Figure 2 presents the kinetic experiments carried out in laboratory and pilot scale using the condition optimized above. Besides, an additional experiment was carried out in pilot scale comparing the kinetic profile obtained in simultaneous hydrolysis and fermentation and the conventional procedure for saccharification of starch. Maximum yield obtained in three experiments was around 190 g kg⁻¹ solids that is within of standard error predicted by the models, validating the result. One aspect important to notice is the difference in the profiles, where the rate of ethanol production was higher in the experiment carried out in laboratory scale. This is expected because the process is better controlled in laboratory in comparison with pilot unit. Other important result obtained in these kinetics is the fact that at 60 hours of fermentation no difference in ethanol yield was verified for simultaneous hydrolysis and fermentation in pilot unit and conventional procedure (carried out in two steps separately).

The mass of ethanol obtained in the pilot batch for simultaneous hydrolysis and fermentation was 14.7 kg that corresponds to a production of 195 kg per ton of sweet potato flour. Considering a mean production of sweet potato of 32.4 t ha⁻¹ in 120 DAP (Nogueira et al., 2016) it is possible to obtain 2,654 kg of ethanol per hectare.

Ziska et al. (2009) reported production of 6,703 and 4,698 kg ethanol per hectare using sweet potato and sugarcane as raw material, respectively. Tian et al. (2009) evaluated some crops in relation to the ethanol production and found the following results (kg ha⁻¹): sugarcane 5,104, beet 4,623, sweet potato 4,459, sorghum 3,769, maize 2,781, cassava and wheat 1,787.

According to these authors, it is possible to increase the production of ethanol from sweet potato by increasing the productivity per hectare, which may be reached values in the range of 45-50 t ha⁻¹.

4.5 CONCLUSIONS

The strategy adopted here was efficient for scale up the production process, where was possible to optimize the variables in the laboratory scale and validate this condition in pilot scale. Maximum ethanol yield obtained at pilot scale was 195 kg t⁻¹ of solids at 125 g L⁻¹ of sweet potato flour, 4 wt% of enzymes STARGENTTM 002 and 36 °C. Sweet potato has demonstrate excellent raw material for ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation.

4.6 CONFLICT OF INTEREST

The authors have not declared any conflict of interest.

4.7 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria for the support.

REFERENCES

- Castro, L. A. S. de, Emygdio, B. M. (2009). Batata-doce para produção de biocombustível. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/BatataDoce/index.htm>. Acesso em: 11 fev. 2017.
- Feltran, J. C., Valle, T. L. (2009). Batata-doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam): Matéria-prima alternativa para a produção de etanol, Instituto Agrônômico (IAC), 2009.
- Nogueira, C. U., Nogueira, H. M. C. M., Padrón, R. A. R., Jahn, S. L., Mazutti, M. A. (2016). Irrigation depth and harvest date in sweet potato for conversion to biofuels. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 11(51), pp. 5116-5123, 22 December, 2016.
- Reguly, J. C. (1996). *Biotechnologia dos processos fermentativos*, Volume 1, Editora e Gráfica Universitária UFPEL, 1996.

- Silveira, M. A. (2008). Batata-doce: uma nova alternativa para a produção de etanol. In: Instituto Euvaldo Lodi/Núcleo Central. Álcool combustível. Brasília: IEL/NC, 2008. p. 109-122. (Série indústria em perspectiva).
- Souza, F. R. D. (2006). Estabelecimento de um processo fermentativo utilizando células livres, a partir de clones de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] selecionadas para as condições de Palmas- TO. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado). Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO, Brasil, 2006.
- Suarez, P. A. Z., Meneghetti, S. M. P., Meneghetti, M. R., Wolf, C. R. (2007). Transformação de triglicérides em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. *Quim. Nova*, v. 30, n. 3, p. 667-676, 2007.
- Tian, Y., Zhao, L., Meng, H., Sun, L., Yan, J. (2009). Estimation of un-used land potential for biofuels development in (the) People's Republic of China. Article in press to *Applied Energy*, Sweden, Page 77-85. 2009.
- Uthumporn, U., Zaidul, I. S. M., Karim, A. A. (2010). Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. *Food and Bioproducts Processing*, v. 88, p. 47-54, 2010.
- Ziska, L. H., Runion, G. B., Tomecek, M., Prior, S. A., Torbet, H. A., Sicher, R. (2009). An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. Article in press to *Biomass & Bioenergy*, Auburn-USA, page 1-6, 2009.

List of Figure Captions

Figure 1. Desirability profiles expressing the influence of the process variables on ethanol yield, conversion and mass of ethanol per batch obtained in laboratory bioreactor.

Figure 2. Kinetics of ethanol yield for experiments carried out in laboratory and pilot bioreactors for conventional and simultaneous saccharification and fermentation processes at optimized condition of the CCRD.

Table 1. DCCR Matrix of Experimental Planning, with actual values for Enzymatic Hydrolysis and Fermentation.

	-1,68	-1	0	1	1,68
Sólidos (g L ⁻¹)	50	80,4	125	169,6	200
Enzima (p/p)	1	2,2	4	5,8	7
Temperatura (°C)	31,6	35	40	45	48,4

Table 2. Regression models for each one of responses of the CCRD and ANOVA.

Response	Models	R ²	F-calc/F-tab*
Etanol (g/kg solids)	$EtOH = 202.5 - 33.4 \times E^2 - 72.4 \times T - 44.0 \times T^2$	0.8558	11.16/2.56
Etanol (g/kg starch)	$EtOH = 280.8 - 46.4 \times E^2 - 100.4 \times T - 61.1 \times T^2$	0.8557	11.16/2.56
Conversion (%)	$Y = 61.2 - 10.1 \times E^2 - 21.9 \times T - 13.3 \times T^2$	0.8558	11.17/2.56
Mass of ethanol per batch (g)	$M = 27.8 - 3.5 \times S - 4.1 \times S^2 + 2.9 \times E - 4.2 \times E^2 - 9.1 \times T - 5.5 \times T^2 - 4.1 \times S \times T$	0.9253	15.81/2.72

*Confidence level of 90% (p<0.1)

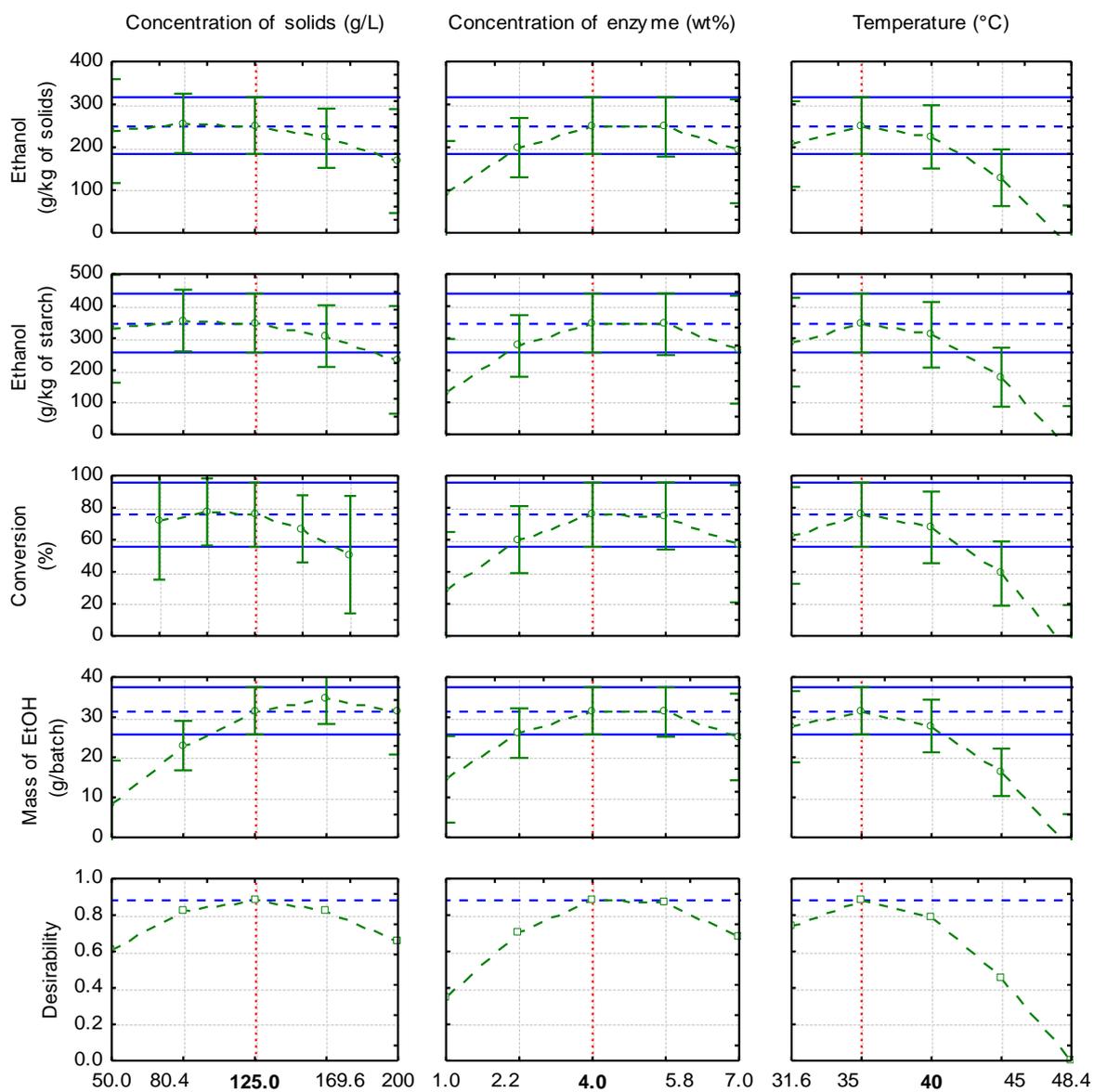


Figure 1. Desirability profiles expressing the influence of the process variables on ethanol yield, conversion and mass of ethanol per batch obtained in laboratory bioreactor.

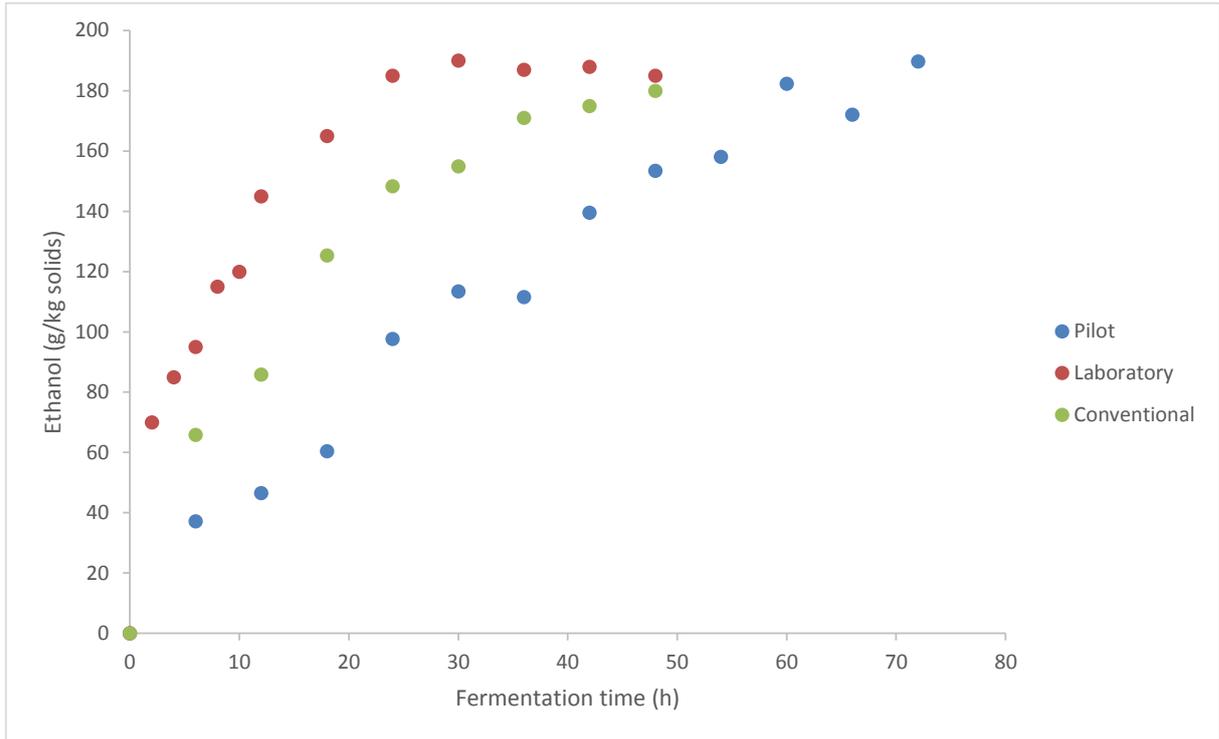


Figure 2. Kinetics of ethanol yield for experiments carried out in laboratory and pilot bioreactors for conventional and simultaneous saccharification and fermentation processes at optimized condition of the CCRD.

5 DISCUSSÃO

No primeiro ciclo da cultura (2013-2014) foram necessários 14 dias de irrigação, a evapotranspiração máxima acumulada foi de 617,80 mm e a maior lâmina aplicada foi de 335,70 mm, ambas no tratamento 100% da ETc. No segundo ciclo da cultura (2014-2015) foram 16 dias de irrigação, evapotranspiração máxima acumulada de 657,90 mm e a maior lâmina de 273,10 mm, também no tratamento 100% da ETc. Em relação aos dois ciclos, a diferença foi de 2 dias de irrigações, de 40,10 mm da evapotranspiração e 62,60 mm na lâmina aplicada. O primeiro ciclo mostrou o menor número de dias de irrigação e evapotranspiração, mas a maior lâmina aplicada. Esta diferença ocorreu devido as condições climáticas da região (temperatura e pelos anos agrícolas com precipitação acima da média histórica).

Nogueira et al. (2015) determinaram a evapotranspiração e a lâmina de irrigação para a cultura da batata-doce para ciclo de 125 DAP, na localidade de Santa Maria-RS, em período de 20 anos, obtendo variação de 562,20 mm a 266,60 mm, respectivamente. Segundo os resultados, a evapotranspiração nos dois ciclos avaliados se manteve. A lâmina de irrigação foi similar no ciclo de 2014-2015, mas apresentou diferença em 2013-2014, também explicado pelas condições climáticas da região.

No período 2013-2014 e 2014-2015, as temperaturas mínimas, médias e máximas, oscilaram de 13,80°C; 16,20°C; 12,30°C e 7,0°C; 15,60°C; 9,6°C, respectivamente, obtendo-se maior variação no primeiro período. A precipitação máxima obtida no período 2013-2014 foi no mês de junho e 2014-2015 no mês de janeiro e, a mínima no mês de dezembro em ambos os períodos. A maior precipitação acumulada foi no período 2013-2014, com maior variação de 180 até 210 dias após o plantio (DAP), de 367,80 mm e entre 90 até 120 DAP, de 279,40 mm. Em 2014-2015, a maior variação foi de 180 a 210 DAP, de 127,40 mm e entre 90 até 120 DAP, com 115,20 mm.

A análise estatística mostrou interação entre os tratamentos e as épocas de colheita. O menor rendimento foi aos 90 DAP e apresentou diferença estatística significativa no nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos (Tabela 2). O rendimento aumentou: no período de 90 até 210 DAP em 21, 23, 20, 20 e 20 t ha⁻¹; de 120 até 210 DAP em 5, 7, 8, 6 e 11 t ha⁻¹; de 150 até 210 DAP em 3, 5, 4, 5 e 8 t ha⁻¹ nos T₀, T_{0,25}, T_{0,50}, T_{0,75} e T_{1,0} respectivamente, com a maior oscilação nos períodos descritos em T_{0,25}, T_{1,0} e T_{1,0}, respectivamente. Aos 210 DAP mostrou o maior rendimento, embora o período de 120 a 150 DAP foi o período que mostrou a menor oscilação em referência a 210 DAP. Pode-se dizer que para essa variedade e nessas

condições de estudo, o período ótimo de colheita foi entre 120 e 150 DAP, concordando com Castro et al. (2011), que comentaram que o período de colheita para a variedade RBS Cuia é entre 120 a 140 DAP, com o plantio a partir do mês de agosto para essa região. Oliveira et al (2015), no estudo das características produtivas de cinco clones de batata-doce cultivados em três períodos de cultivo em São Cristóvão-SE, demonstraram que a maior produtividade total de raízes e massa fresca e seca de parte aérea aconteceu aos 150 DAP, tanto para o consumo humano como para o uso em indústrias.

Em todas as colheitas, o maior rendimento foi em T_0 e o de menor em $T_{1,0}$. Nas condições climáticas e com as características do solo (retenção da umidade e textura), a irrigação nesse período de estudo influenciou no rendimento da cultura. Porém, em períodos prolongados de estiagem se faz necessário à irrigação. Também, se observou nos tratamentos sob irrigação maior desenvolvimento vegetativo em comparação com T_0 e, com exceção de 90 DAP, as produtividades médias estão acima das obtidas a nível mundial de $12,80 \text{ t ha}^{-1}$, em 2012 (FAO, 2012; CIP, 2014), superando a média brasileira que é de $13,10 \text{ t ha}^{-1}$ e do Rio Grande do Sul que é de $13,42 \text{ t ha}^{-1}$ (IBGE, 2013). Além de, com exceção de 90 DAP e do $T_{1,0}$ até aos 150 DAP, estar acima da produtividade média do maior produtor mundial, a China, de $23,10 \text{ t ha}^{-1}$ (FAO, 2013).

Miranda (2006) avaliando clones de batata-doce obteve produtividade de raízes de 25 t ha^{-1} com a cultivar Brazlândia Roxa e 33 t ha^{-1} com a cultivar Brazlândia Rosada, em 150 DAP. Silva (2010a), no estudo do desempenho agrônômico de 96 genótipos de batata-doce, sob irrigação e com colheita realizada 150 DAP, encontrou produtividade média de raízes variando de $23,15$ a $73,22 \text{ t ha}^{-1}$, demonstrando a aptidão da cultura para a produção de etanol combustível. Na literatura, relatos apontam que produtividades superiores a 50 t ha^{-1} é condição primordial para tornar a batata-doce uma matéria-prima promissora para produção de etanol (SOUZA, 2005; SILVEIRA et al., 2008).

Os genótipos de batata-doce considerados aptos para produção de álcool, com base de 158 L t^{-1} de etanol de raízes processadas, apresentam produção etanólica entre $7.078,40$ e $15.484,00 \text{ L ha}^{-1}$, correspondentes à amplitude de produtividade de $44,80$ e 98 t ha^{-1} de raízes, respectivamente (SILVEIRA et al., 2008).

Amorin et al. (2011) no estudo sobre adaptabilidade fenotípica de batata-doce oriundos de sementes botânicas no Estado do Tocantins utilizando 22 genótipos, utilizando irrigação, aos 150 DAP foram obtidas produtividades médias de $29,72$ a $48,88 \text{ t ha}^{-1}$ de raízes.

Na mesma região em estudo, Erpen et al. (2013) estudaram a cultura da batata-doce, variedade Princesa, e recomendaram a irrigação suplementar somente após longos períodos

sem precipitação, de 10 a 15 dias. Mantovani et al. (2013) estudaram diferentes lâminas de irrigação (50%, 75%, 100% e 125% da ETc) em duas cultivares de batata-doce (Amanda e Duda), concluíram que o aumento da lâmina de água resultou em aumento na produtividade de raízes tuberosas de ambas as cultivares. Entretanto, este aumento não foi linear, atingindo-se rendimento máximo de 49,80 t ha⁻¹ com a aplicação de 325,50 mm para a Amanda e 67,10 t ha⁻¹ com a aplicação de 347,00 mm para a Duda, também reportaram à máxima eficiência no uso da água para as cultivares de batata-doce de 237 e 146 m³ ha⁻¹, para Amanda e Duda, respectivamente.

O uso eficiente da água (UEA) decresceu à medida que aumentou a lâmina de irrigação, de T_{0,25} até T_{1,0}. O UEA foi maior no T_{0,25} devido ao incremento no rendimento e mostrou os maiores valores entre 120 e 150 DAP, concordando com o período ótimo de colheita. O UEA no T₀ foi similar ao T_{0,75} devido ao incremento no rendimento em T₀ e o decréscimo em T_{0,75}.

Mantovani et al. (2013) afirmaram que o aumento na lâmina de água aplicada resultou no aumento da eficiência do uso da água, até atingir um valor máximo de 16,10 kg m⁻³, com a aplicação de 301,80 mm para a cultivar Amanda e de 20 kg m⁻³, com a aplicação de 332,40 mm para a cultivar Duda, estes valores representaram a lâmina de máxima utilização da água pelas cultivares de batata-doce estudadas.

A média dos maiores diâmetros foram aos 90, 120 e 210 DAP no T₀, com 6,73 cm, 6,42 cm e 6,66 cm, respectivamente e a menor foi aos 90 DAP no T_{0,5} com 3,62 cm. A média do maior comprimento foi aos 210 DAP no T_{0,5} com 15,10 cm e a menor foi aos 90 DAP no T₀ com 8,30 cm. Em relação aos valores, observou-se que os menores valores no comprimento obtinham os maiores valores nos diâmetros.

Nesse trabalho foi feito só duas classificações (Comercial - de 200 g a 500 g e Industrial - menor de 200 g e maior de 500 g) porque a indústria de etanol processa qualquer tipo de classificação. Em todas as épocas de colheita e lâminas de irrigação, a produção industrial superou a comercial, aproximadamente em 80%.

Moreira et al. (2011), no estudo de oito cultivares de batata-doce, as cultivares Paraná e Coquinho obtiveram os menores valores no comprimento, com 8,5 e 8,3 cm, respectivamente e com o maior diâmetro (5,7 cm, em ambas cultivares). Já as da cultivar ESAM 2, que integra o grupo das raízes mais compridas (12,30 a 12,10 cm), foram as mais finas (4,4 cm). Cardoso et al. (2005) avaliando dezesseis clones de batata-doce, também evidenciaram este comportamento e obtiveram valor médio do comprimento de raízes nesses clones de 13,90 cm.

Peixoto et al. (1989) verificaram que a cultivar Brazlândia Roxa quando colhida aos 152 DAP apresentou o maior rendimento de refugo, no que se refere ao experimento em condições de sequeiro, verificou-se um rendimento comercial variando de 8,20 a 17,60 t ha⁻¹.

Cardoso et al. (2005) avaliando as características das raízes de batata-doce observaram produtividade máxima de 28,50 t ha⁻¹, de massa verde de 14,10 t ha⁻¹ e produtividade comercial de raízes de 21,30 t ha⁻¹. Queiroga et al. (2007) obtiveram os maiores valores de produtividade total (20,70 t ha⁻¹) e comercial de raízes (17,70 t ha⁻¹) aos 155 DAP.

Silva et al. (2015) observaram que o cultivar Beauregard destacou-se, em 2012, para número e massa de raízes. Entretanto, esta cultivar não apresentou os maiores valores para massa média de raízes comerciais, nesse ano, com média de 390 g. O bom desempenho quanto a estes caracteres repetiu-se em 2013, juntamente com o da cultivar BRS Rubissol. Quanto à massa média de raízes comerciais, o valor médio apresentado pelas cultivares foi de 470 g, em 2012, e de 440 g, em 2013, valores pouco acima do tamanho ideal para o comércio, que seria de 200 a 400 g, de acordo com Miranda (1989), indicando que, para essas cultivares, a data de colheita poderia ser adiantada, muito embora o tamanho ideal possa variar conforme as exigências do mercado (QUEIROGA et al., 2007).

As médias das porcentagens das análises bromatológicas da raiz em massa seca (amido total, a proteína bruta e a amilose) em matéria seca, em função das épocas de colheitas e lâminas de irrigação, nas temporadas de estudo (2013/2014 e 2014/2015) na cultura da batata-doce, se mostram na Tabela 2.

O teor de amido e a proteína bruta foram influenciados pelas épocas e lâminas de irrigação. Em todos os tratamentos, a concentração do amido e a proteína bruta foram crescentes até aos 150 DAP e, nessa data mostraram a maior concentração, após essa data começaram a decrescer, onde o teor de amido obteve valores menores que aos 90 DAP. Os maiores e os menores valores em teor de amido foi em T_{1,0} (150 DAP) e T₀ (210 DAP) e da proteína bruta em T_{0,75} (150 DAP) e T₀ (90 DAP), respectivamente. Os tubérculos apresentaram grânulos de amido e quantidades variáveis de açúcares, dependendo das condições ambientais, datas de colheitas e a variedade. Já o teor de amilose não foi influenciado pelas épocas e lâminas de irrigação: aos 90 DAP, variou de 12,70% MS a 14,02% MS, no T_{0,75} e T_{1,0}, respectivamente; em 120 DAP, de 13,77% MS a 15,03% MS, no T_{0,75} e T_{0,5}, respectivamente; aos 150 DAP, o menor e o maior teor foi 13,52% MS e 15,98% MS, no T_{0,75} e T_{0,25}, respectivamente; já em 180 DAP, o menor e o maior teor foi 10,94% MS e 15,22% MS, no T_{0,25} e T_{0,75}, respectivamente e em 210 DAP, o menor e o maior teor foi 12,01% MS e 16,94% MS, no T_{0,5} e T_{0,25}, respectivamente. Até aos 150 DAP o menor teor foi

em $T_{0,75}$, enquanto que o maior teor variou nos tratamentos, apresentando maior teor na última data de colheita.

Tabela 2 – Resultados de rendimento e análise bromatológica da raiz em massa seca (amido total (TS), a proteína bruta (PB) e a amilose (A)) na cultura da batata-doce em função das épocas de colheitas e lâminas de irrigação.

Treat.	90 DAP				120 DAP				150 DAP				180 DAP				210 DAP			
	Yield	TS	PB	A																
	t ha ⁻¹	%	%	%	t ha ⁻¹	%	%	%	t ha ⁻¹	%	%	%	t ha ⁻¹	%	%	%	t ha ⁻¹	%	%	%
T ₀	16,8	65,8	2,9	13,4	32,4	67,1	3,3	14,7	34,8	71,7	3,6	15,9	37,6	52,3	3,1	13,9	37,6	54,6	3,5	15,3
T _{0,25}	12,0	68,1	3,7	13,8	28,1	69,2	3,8	14,9	30,0	73,8	3,7	16,0	31,8	58,6	3,8	10,9	34,9	66,5	4,4	16,9
T _{0,50}	10,8	66,4	3,4	13,5	23,7	67,9	3,5	15,0	27,2	72,1	3,4	13,8	28,4	64,0	3,5	13,1	31,2	60,1	3,5	12,0
T _{0,75}	9,5	62,6	4,8	12,7	23,1	63,6	4,9	13,8	23,9	67,4	5,5	13,5	27,8	67,9	4,3	15,2	29,2	59,8	3,9	14,0
T _{1,0}	9,4	69,9	3,7	14,0	18,1	70,5	3,9	14,6	20,8	74,9	4,7	15,8	24,8	63,4	3,1	14,8	29,1	60,1	4,2	14,6

Em São Paulo, no estudo do efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce, Borba, Sarmento e Leonel (2005) encontraram 58,10% de amido. Já na Paraíba, Oliveira et al. (2005), trabalhando com diferentes níveis de uréia na adubação de batata-doce, sob irrigação, aos 120 DAP, encontraram valor mínimo de 57% de amido.

Segundo Silveira (2008), amostras de clones de batata-doce com produtividade média de 65,50 t ha⁻¹ e concentração de amido com média de 24,40% em massa natural (MN), a conversão em etanol se dá em torno 160 L t⁻¹. Os teores de amido nas raízes das plantas podem variar, entre outros aspectos, em função da adubação. Portanto, o estudo e conhecimento sobre a influência desse fator no acúmulo da concentração de amido nas raízes das plantas proporcionará melhoria na qualidade e no rendimento (MALAVOLTA, 2006).

Em Minas Gerais, no município de Diamantina, Andrade Júnior et al. (2012) estudaram as características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce, conduzido na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri-UFVJM, seis meses após o plantio encontraram nas raízes dos genótipos avaliados, teores de amido que variaram de 16 a 23,90% e os teores de proteína bruta foram semelhantes entre si e variaram de 3,9 a 4,6% e afirmaram que foram próximos aos resultados encontrados por Leonel, Jackey e Cereda (1998), de 4,6%, no estudo do processamento industrial de fécula de mandioca e batata-doce em Quatro Pontes-PR, e superiores aos encontrados por Batistuti, Valim e

Camara (1992), de 1,1 a 1,7%, analisando oito cultivares de batata-doce.

Na Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), no município de Guarapuava-PR, no estudo de oito genótipos para produção de álcool de batata-doce em função do meio fermentativo Lopes (2013) identificou que os genótipos mais ricos em amido foram UGA 08, UGA 07, UGA 49 e UGA 05, apresentando valores de 58,06%, 56,82%, 56,23% e 56,10%, respectivamente.

Vieira et al. (2015), no estudo da avaliação agrônômica de clones de batata-doce com potencial para produção de etanol, realizado na UFT, onde avaliaram 60 tratamentos, utilizando irrigação por aspersão, observaram que a produtividade da raiz variou de 3,82 t ha⁻¹ a 46,77 t ha⁻¹, a produtividade média do experimento foi de 21,34 t ha⁻¹. O teor de amido dos clones variou de 43,85% (clone 106-62) a 60,62% (clone 022-06), com valor médio de 58,62%. Os clones 048-02 (59,60% e 46,77 t ha⁻¹), 112-07 (60,05% e 38,26 t ha⁻¹), 022-19 (59,50% e 37,56 t ha⁻¹), 048-14 (56,80% e 36,40 t ha⁻¹) e 114-18 (59,09% e 34,87 t ha⁻¹) apresentam agronomicamente potencial para produção de etanol devido à variação no teor de amido. Essa variação pode ser explicada pelo fato dos clones avaliados terem sido obtidos de um campo de policruzamento, anteriormente selecionado para alto teor de massa seca, este é favorável por proporcionar um maior rendimento de extração do amido (CEREDA, 2001). Além disso, Thompson, Smittle e Hall (1992) comentaram que o teor de glicose foi máximo em uma quantidade de água total de 94% de evapotranspiração e conteúdo de frutose diminuiu com quantidades aumentadas de irrigação.

Para a produção de etanol, das experiências do delineamento composto central rotacional (DCCR). O mais alto rendimento foi 289,0 g L⁻¹ de sólido e 400,8 g kg⁻¹ de amido, com uma conversão de 87,30%. Por outro lado, a massa de etanol produzida por esse experimento foi de 14,50 g, devido à baixa concentração de sólidos utilizados no processo da hidrólise e fermentação simultâneas.

Estes experimentos foram utilizados para prever o estado ótimo para a produção de etanol por meio de perfis de desejabilidade. A concentração de sólidos não afetou os rendimentos e de conversão, mas reduziu os valores da massa de etanol por experimento. A concentração de enzimas a valores inferiores a 2,2% em peso e temperaturas superiores a 40°C impactaram negativamente em todas as respostas avaliadas.

A condição otimizada para a produção de etanol foi de 125 g L⁻¹ de concentração de sólidos, 4,0% a concentração de enzima em peso e a temperatura de 35°C. Nesta condição, os rendimentos foram 250 g kg⁻¹ de sólidos e 350 g kg⁻¹ amido, respectivamente, a conversão foi de cerca de 80% e a massa de etanol por lote de 30 g.

Um experimento adicional foi realizado em escala piloto comparando o perfil cinético obtido em hidrólise e fermentação simultâneas e o procedimento convencional para sacarificação de amido. O rendimento máximo obtido em três experiências foi de cerca de 190 g kg⁻¹ de sólidos que está dentro do erro padrão previsto pelos modelos, validando o resultado. Um aspecto importante foi a diferença nos perfis, onde a taxa de produção de etanol foi maior no experimento realizado em escala laboratorial. Isso é esperado porque o processo é melhor controlado em laboratório em comparação com a unidade piloto. Outro resultado importante obtido na cinética foi o fato de que em 60 horas de fermentação não foi verificada nenhuma diferença em rendimento de etanol por hidrólise e fermentação simultâneas em unidade piloto e procedimento convencional (realizado em duas etapas separadamente).

A massa de etanol obtida no lote piloto por hidrólise e fermentação simultânea foi de 14,70 kg, que correspondeu à produção de 195 kg por tonelada de farinha de batata-doce. Considerando-se produção média de batata-doce desse estudo, de 32,40 t ha⁻¹, foi possível obter 2.654 kg de etanol por hectare.

Lázari (2011) em avaliação das características agrônômicas e físico-químicas de 100 acessos de batata-doce industrial do programa de melhoramento, em laboratório utilizando fermentômetros obteve rendimentos médios de etanol de 151,67 e 234,33 L t⁻¹ de raiz.

Santana et al. (2013), na UFT, indicaram os genótipos: BDI2007.PA37; BDI2007.PA26 e BDI2007.0217 juntamente com a cultivar Duda, com potencial para serem utilizados na indústria de processamento de batata-doce para a produção de etanol carburante, devido à produtividade média de etanol produzida por hectare, que variou de 6.136,80 L ha⁻¹ a 10.007,10 L ha⁻¹, com 180 DAP.

No estudo de Taborda et al. (2015) sobre a viabilidade técnica e econômica da produção de etanol combustível de batata-doce, em uma pequena unidade de produção na cidade de Santa Maria, foram obtidos 190 litros de etanol hidratado a partir de 1000 Kg de matéria-prima.

Pesquisas realizadas no estado do Tocantins indicam cultivares para a indústria de etanol, com valores na faixa de 60% de teor de amido em base seca. Amostras com variações de amido entre 25 a 28% produzem até 170 L de etanol. Com utilização de leveduras modificadas no processo de fermentação é possível atingir até 200 L de etanol, para produtividade de 50 a 60 t ha⁻¹ (BIS, 2017).

As pequenas propriedades no sul do Brasil, ou em outras regiões, com áreas médias totais de 20 a 50 hectares poderão perfeitamente aproveitar 2, 3 ou mais hectares para o plantio da batata-doce, visando o uso na alimentação e comercialização, do excedente ou

descarte utilizar para produção do próprio combustível. Com a expansão da indústria dos biocombustíveis que poderão ser em forma de cooperativas ou associações, criam-se novos postos de trabalho e, conseqüentemente, gera-se renda para o trabalhador manter o sustento de sua família.

6 CONCLUSÃO

A cultura da batata-doce foi influenciada pelas diferentes lâminas de irrigação aplicadas e as épocas de colheitas, com aumento no teor de amido e decréscimo no rendimento.

A melhor época de colheita foi de 120 a 150 dias após o plantio, onde a variedade mostrou o maior potencial produtivo em todas as variáveis avaliadas.

O maior uso eficiente de água foi no tratamento 25% da evapotranspiração da cultura.

Os resultados indicaram que nas condições desse estudo, a cultura da batata-doce não requereu a irrigação. Porém, precisa-se de pesquisas com outras frequências e estratégias de irrigação.

No processo de produção de etanol, a estratégia adotada foi eficiente, pois ampliou as possibilidades e foi possível otimizar as variáveis em escala laboratorial e validar esta condição em escala piloto.

O rendimento máximo de etanol obtido em escala piloto foi 195 kg t⁻¹ de sólidos, 125 g L⁻¹ de farinha de batata-doce, 4% em peso de enzimas STARGEN™ 002 e 36°C.

A batata-doce demonstrou excelente matéria-prima para a produção de etanol por sacarificação e fermentação simultâneas.

REFERÊNCIAS

- AMORIN, B. da S. C.; OLIVEIRA, G. I. SOUZA; SILVEIRA, M. A.; NASCIMENTO, I. R.; FERREIRA, T. A. Adaptabilidade fenotípica de genótipos de batata-doce oriundos de sementes botânicas na região Sul do Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, Paraná, v. 4, n. 3, p. 31-50, 2011.
- AMUDHA, J.; BALASUBRAMANI, G. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop plants. **Biotechnology and Molecular Biology Reviews**, v. 6, n. 2, p. 31-58, 2011.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Ed. Especial. Brasília-DF: ANA, 2012. 215 p.
- ANDRADE, R. L. P. de; MARTINS, J. F. P. Influência da adição da fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sobre a viscosidade do permeado de soro de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 249-253, 2002.
- ANDRADE JÚNIOR, V. C. de; VIANA, D. J. S.; PINTO, N. A. V. D.; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, R. C.; NEIVA, I. P.; AZEVEDO, A. M.; ANDRADE, P. C. de R. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 30, n. 4, p. 584-589, 2012.
- AZEVEDO, S. M. de; FREITAS, J. A. de; MALUF, W. R.; SILVEIRA, M. A. Desempenho de clones e métodos de plantio de batata-doce. **Acta Scientiarum**, Maringá, Paraná, v. 22, n. 4, p. 901-905, 2000.
- BATISTUTI, J. P.; VALIM, M. F. C. F. A.; CAMARA, F. L. A. Evaluation of the chemical composition of the tubers and the starch of the different cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam.). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 14, p. 205-214, 1992.
- Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social-BNDES, 2008. 316 p.
Disponível em: <<http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/bioetanol.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2017.
- BIS - Brazil Industrial Solutions. **Usina para produção de etanol a partir da batata-doce**. Disponível em: <<http://www.bisbrazil.com.br/tecnologias/alcool.htm>>. Acesso em: 27 fev. 2017.
- BOMTEMPO, J. V. O futuro dos biocombustíveis II: Por que a indústria de biocombustíveis do futuro será diferente da que conhecemos hoje? Blog Infopetro, 2011.
- BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 835-843, 2005.

BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa-UFV, Minas Gerais, 2006. 120 p.

BRITO, C. H. de; OLIVEIRA, A. P. de; ALVES, A. U.; DORNELES, C. S. M.; SANTOS, J. F. dos; NÓBREGA, J. P. R. Produtividade da batata-doce em função de doses de K₂O em solo arenoso. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 24, n. 3, p. 320-323, 2006.

CANOVA, M. D. **Biocombustíveis: análise de viabilidade econômica da implantação de microdestilarias de etanol no Rio Grande do Sul**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2011.

CARDOSO, A. D.; VIANA, A. E. S.; RAMOS, P. A. S.; MATSUMOTO, S. N.; AMARAL, C. L. F.; SEDIYAMA, T.; MORAIS, O. M. Avaliação de clones de batata-doce em Vitória da Conquista. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 23, n. 4, p. 911-914, 2005.

CASTRO, L. A. S. de; EMYGDIO, B. M. **Batata-doce para produção de biocombustível**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/BatataDoce/index.htm>. Acesso em: 11 fev. 2014.

CASTRO, L. A. S. de; TREPTOW, R. de O.; BECKER A.; OLIVEIRA R. P. de; CAMPOS, A. D.; SCHOER E.; SCIVITTARO W. B.; MELO M.; EMYGDIO B. M.; DUTRA L.; **Cultivar de batata-doce BRS-cuia**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Rio Grande do Sul, (Documentos, 352), 2011. 23 p.

CASTRO, L. A. S.; TREPTOW, R.; BECKER, A. Potencialidade da cultivar de batata-doce BRS-CUIA como matéria-prima para a produção de etanol. Simpósio Estadual de Agroenergia e IV Reunião Técnica de Agroenergia-RS, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75423/1/128.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

CAVALCANTE, J. T.; FERREIRA, P. V.; SOARES, L. Avaliação de clones de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), em Rio Largo-Alagoas. **Magistra**, Cruz das Almas, Bahia, v. 15, n. 1, p. 13-17, 2003.

CEREDA, M. P. Potencial de tuberosas sul americanas em uso culinário e uso industrial. In: Simpósio Latino Americano de Raices y Tubérculos, 2., **Anais**. Lima: 2001. Presentación Magistral.

CHALFANT, R. B.; JANSSON, R. K.; SEAL, D. R.; SCHALK, J. M. Ecology and management of sweet potato insects. **Annual Review of Entomology**, v. 35, p. 157-180, 1990.

CIP - CENTRO INTERNACIONAL DA LA PAPA. **La batata em cifras: producción, utilización, consumo e alimentación**. 2008. Disponível em: <<http://www.cipotato.org/sweetpotato/facts/batacif.pdf>>. Acesso em: 03 de mar. de 2014.

CIP - INTERNATIONAL POTATO CENTER. **CIP sweet potato facts**, 2014. Disponível em: <<http://www.cipotato.org>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

CLARK, C. A.; MOYER, J. W. **Compendium of sweet potato diseases**. Saint Paul: APS Press, 1988, 74 p.

CORRADINI, E.; LOTTI, C.; MEDEIROS, E. S. de; CARVALHO, A. J. F.; CURVELO, A. A. S.; MATTOSO, L. H. C. Estudo Comparativo de Amidos Termoplásticos Derivados do Milho com Diferentes Teores de Amilose. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005.

CUNHA-PEREIRA, F. da; HICKERT, L. R.; SEHNEM, N. T.; SOUZA-CRUZ, P. B. de; ROSA, C. A.; AYUB, M. A. Z. Conversion of sugars present in rice hull hydrolysates into ethanol by *Spathaspora arborariae*, *Saccharomyces cerevisiae*, and their co-fermentations. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 5, p. 4218–4225, 2011.

DIAS, M. O. S.; JUNQUEIRA, T. L.; CAVALETT, O.; CUNHA, M. P.; JESUS, C. D. F.; ROSSELL, C. E. V.; FILHO, R. M.; BONOMI, A. Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. **Bioresource Technology**, v. 103, n. 1, p. 152-161, 2012.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. FAO - Food and Agriculture Organization. Irrigation and Drainage Paper 33, Rome, 1979. 193 p.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO. Irrigação e drenagem, 33, 1994. 306 p.

DRUMOND, L. C. D.; AGUIAR, A. P. A. **Irrigação de pastagem**. Uberaba: LCD Drumond, Minas Gerais, v. 1, 2005. 210 p.

DUVERNAY, W. H. **Conversion of Industrial Sweetpotatoes for the Production of Ethanol**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade do Estado da Carolina do Norte, Raleigh, 2008. Disponível em: <<http://repository.lib.ncsu.edu/ir/bitstream/1840.16/418/1/etd.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2013.

EDMOND, J. B.; AMMERMAN, G. R. **Sweet potatoes: production processing marketing**. Wesport: The Air Publishing Company, 1971. 58 p.

ELIASSON, A. C. **Starch in food - Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605 p.

EMPASC/ACARESC. **Normas técnicas para a cultura da batata-doce**. Florianópolis: EMPASC/ACARESC, Sistemas de produção 15, Santa Catarina, 1990. 21 p.

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; FREITAS, C. P. de O. de; ANDRIOLO, J. L. Tuberação e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, Campinas, São Paulo, v. 72, n. 4, p. 396-402, 2013.

FABRICIO, A. M. **Determinação dos custos de produção do etanol a partir da mandioca (*manihot esculenta crantz*) pelo método de custeio baseado em atividades (ABC)**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Faostat, Rome, Italy, 2008. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Faostat, Rome, Italy, 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/>>. Acesso em: 03 dez. 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS . Agricultural production, primary crops. Roma, Italy, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 10 de set. 2012.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Statistical Data bases, Rome, Italy, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: 03 set. 2013.

FARRELL, A. E., PLEVIN, R. J., TURNER, B. T., JONES, A. D., O'HARE, M. e KAMMEN, D. M. Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. **Science**, v. 311, n. 5760, p. 506-508, 2006.

FIGUEIREDO, A. F. de; CASALI, V. W. D. **Armazenamento de ramas, tipos de estacas, profundidade de plantio e análise do crescimento de plantas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**. Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa, Minas Gerais, 1993. 127 p.

FIGUEIREDO, S. A.; PINTO, J. E. B. P. **Influência de reguladores de crescimento e fotoperíodo no crescimento secundário de raízes de *Ipomoea batatas* (L.) Lam. cv. Brazlândia Branca em condições in vitro**. Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras, Minas Gerais, 1995. 78 p.

FOLQUER, F. **La batata (camote): estudio de la planta y su producción comercial**. San Jose: [s.n.]. Buenos Aires: Editorial Hemisfério Sur, 1978. 145 p.

FUJISE, K; TSUNO, Y. Effect of potassium on dry matter production of sweet potato. **Proceedings of the International Symposium on Tropical Root Crops**, Trinidad, v. 1, p. 20-29, 1967.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, v. 36, p. 2086-2097, 2008.

GONÇAVES NETO, A. C. **Aptidões para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal em clones de batata-doce**. 2010. 77 f. Tese de Doutorado (Agronomia /Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras, Minas Gerais, 2010.

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

GONÇALVES NETO A. C.; MALUF W. R.; GOMES L. A. A.; MACIEL G. M.; FERREIRA R. de P. D.; CARVALHO R. de C. Correlação entre caracteres e estimação de parâmetros populacionais para batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 30, n. 4, p. 713-719, 2012.

HALL, M. R.; PHATAK, S. C. **Sweet potato *Ipomoea batatas* (L.) Lam.** In: KALLOO, G.; BERGH, B. O. Genetic improvement of vegetable crops. New York, Pergamon Press, p. 693-708, 1993.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal. Rio de Janeiro, 2012a. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 07 fev. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@. Rio Grande do Sul, 2012b. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/uf.php?coduf=43&search=rio-grande-do-sul>>. Acesso em: 14 jul. 2013.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal. Culturas temporárias e permanentes, Rio de Janeiro, 40, 2013. 102 p. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 07 fev. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas do ano civil 2014. Rio de Janeiro: IBGE, v. 27, n. 3, p.1-84, 2014. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201403.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201403.pdf)>. Acesso em: 26 maio 2014.

KHATOUNIAN, C. A. **Produção de alimentos para consumo doméstico no Paraná: caracterização e culturas alternativas.** Londrina, Paraná: IAPAR, 1994. 193 p. (IAPAR. Circular, 81).

LÁZARI, T. M. **Avaliação das características agronômicas e físico-químicas de clones de batata-doce, suas correlações e implicações no rendimento de etanol.** 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins-UFT, Palmas, Tocantins, 2011.

LEONEL, M.; JACKY, S.; CEREDA, M. P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata-doce - Um estudo de caso. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, **Food Science and Technology**, Campinas, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 343-345, 1998.

LIMA, U. A. de; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. de. **Produção de etanol. Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos.** Ed. Edgard Blucher, 1. ed., São Paulo, v. 3, n. 1, 2001. 43 p.

LOPES, A. C. **Produção de álcool de batata-doce em função do meio fermentativo.** 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste-UNICENTRO, Guarapuava, Paraná, 2013.

MAGALHÃES, K. A. B. **Análise da sustentabilidade da cadeia produtiva de etanol de batata-doce no município de Palmas-TO.** 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins-UFT, Palmas, Tocantins, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas.** Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 2006, 638 p.

MALUF, W. R. **A batata-doce e seu o potencial na alimentação humana, na alimentação animal, e na produção de etanol biocombustível.** Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras, Minas Gerais, 2014. Disponível < http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_7/MALUF.PDF>. Acesso em: 27 fev. 2017.

MANOCHIO, C. **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos.** 2014, 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas-UNIFAL, Campus Poços de Caldas, Minas Gerais, 2014.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R. de; VIEIRA, G. H. S.; LANDIM, F. M. Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, Bahia, v. 31, n. 4, p. 602-606, 2013.

MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial.** 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Estadual de São Paulo-USP, São Paulo, 2007.

MAROUN, M. R. **A Produção integrada de etanol e alimentos por camponeses como uma oportunidade para o desenvolvimento rural sustentável do Rio Grande do Sul.** 2013. 227 f. Tese (Doutorado em Ciências em planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS, E. C. A.; PELUZIO, J. M.; COIMBRA, R. R.; OLIVEIRA JUNIOR, W. P. Variabilidade fenotípica e divergência genética em clones de batata doce no estado do Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, Ceará, v. 43, n. 4, p. 691-697, 2012.

MASIERO, S. S. **Microusinas de etanol de batata-doce: viabilidade econômica e técnica.** 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2012.

MASSAROTO, J. A. **Características agronômicas e produção de silagem de clones de batata-doce.** 2008, 85 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras-UFLA, Minas Gerais, 2008.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 3, p. 85-92, 1995.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Paraíba, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MENDONÇA, F. C.; CAMARGO, A. C. de; STIVARI, A.; LIMA, C. R. C.; FERREIRA, F. C.; AKINAGA, L.; COTI, L. B.; GONÇALVES, L. R.; QUINAGLIA NETO, P. **Dimensionamento de sistemas de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Pecuária Sudeste. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, São Carlos, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/17546/1/Boletim10.pdf>>. Acesso em: 27 de jan. 2016.

MIRANDA, J. E. C. de; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; AGUILAR, J. A. E. **Cultivo de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam)**. Brasília-DF: EMBRAPA-CNPB, (Embrapa Hortaliças. Instruções Técnicas, 7), 1984. 8 p.

MIRANDA, J. E. C. Brazlândia Roxa, Brazlândia Branca, Brazlândia Rosada e Coquinho: novas cultivares de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 7, n. 1, p. 32-33, 1989.

MIRANDA, J. E. C. de; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; DILVA, J. B. C. **Batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**. 2. ed. Brasília-DF: EMBRAPA-CNPB. Circular técnica 3, 1989. 19 p.

MIRANDA, J. E. C. de; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; DILVA, J. B. C. **A cultura da batata-doce**. Brasília-DF: EMBRAPA-CNPB, 1995, 94 p.

MIRANDA, J. E. C. Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. Embrapa Hortaliças, 10 de abril, 2006. Disponível em: <<http://www.cnpb.embrapa.br>>. Acesso em: 24 de maio de 2016.

MOMENTÉ, V. G.; RODRIGUES, S. C. S.; TAVARES, I. B.; SILVEIRA, M. A. da; 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**, Brasília-DF, v. 22, n. 2, p. 340-342, 2004a.

MOMENTÉ, V. G.; TAVARES, I. B.; RODRIGUES, S. C. S.; SILVEIRA, M. A. da; SANTANA, W. R. Seleção de cultivares de batata-doce adaptados à produção de biomassa via programa de melhoramento, visando à produção de álcool no estado do Tocantins. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 22, n. 2, p. 343-344, 2004b.

MONTEIRO, A. B.; MASSAROTO, J. A.; GASPARINO, C. F.; SILVA, R. R.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; FILHO, J. C. S. Silagens de cultivares e clones de batata-doce para alimentação animal visando sustentabilidade da produção agrícola familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 978-981, 2007.

- MONTEIRO, A. F. da S. **Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal**. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.
- MOREIRA, J. N.; QUEIROGA, R. C. F. de; SOUSA JÚNIOR, A. J. de L.; SANTOS, M. A. Caracteres morfofisiológicos e produtivos de cultivares de batata-doce, em Mossoró-RN. Grupo Verde de Agricultura Alternativa (GVAA). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, Rio Grande do Norte, v. 6, n. 1, p. 161-167, 2011.
- MORRISON, R. R. B. **Química orgânica**. 9. ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1990.
- MURILLO, I. A. Analysis of the viability of ethanol production in Brazil: economical, social & environmental implications. **Energy and Environment Research**, v. 3, n. 2, p. 166-175, 2013.
- NOGUEIRA, C. U.; PADRÓN, R. A. R.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; CERQUERA, R. R.; KOPP, L. M. Necessidades hídrica na cultura da batata-doce em diferentes localidades e épocas de plantio. **Acta Iguazu**, Cascavel, Paraná, v. 4, n. 3, p. 66-77, 2015.
- OLIVEIRA, C. A. S.; MAROUELLI, W. A. Hortaliças irrigadas na região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 7., 1989, Brasília-DF. Estratégias de utilização: **Anais... Planaltina**, DF: EMBRAPA-CPAC, p. 165-172, 1997.
- OLIVEIRA, A. P. de; OLIVEIRA, M. R. T. de; BARBOSA, J. A.; SILVA, G. G. da; NOGUEIRA, D. H.; MOURA, M. F. de; BRAZ, M. do S. S. Rendimento e qualidade de raízes de batata-doce adubada com níveis de uréia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 925-928, 2005.
- OLIVEIRA, J. M. S. **Estudo de viabilidade financeira para produção de etanol em pequena propriedade**. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Aplicáveis à Bioenergias) - Faculdade de Tecnologia e Ciência-FTC, Salvador, Bahia, 2011.
- OLIVEIRA NETO, M. A. **Comportamento de germoplasma de batata-doce em Sergipe**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe-UFS, São Cristóvão, Sergipe, 2012.
- OLIVEIRA, F. M. de; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, Minas Gerais, v. 59, n. 6, p. 832-840, 2012.
- OLIVEIRA, A. M. S.; BLANK, A. F.; ALVES, R. P.; PINTO, V. S.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; MALUF, W. R. Características produtivas de clones de batata-doce cultivados em três períodos de cultivo em São Cristóvão-SE. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 33, n. 3, p. 377-382, 2015.

PADRÓN, R. A. R.; RAMÍREZ, L. R.; CERQUERA, R. R.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; MUJICA, J. L. U. Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, Paraíba, v. 9, n. 2, p. 49-55, 2015.

PAVLAK, M. C. de M.; ABREU-LIMA, T. L. de; CARREIRO, S. C. Estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 82-86, 2011.

PEIXOTO, N.; MIRANDA, J. E. C. de; FILGUEIRA, F. A. R.; CÂMARA, F. L. A. **Avaliação de clones de batata-doce em Goiás**. Goiânia: EMGOPA-DDI, Goiás, 1989, 12 p. (Boletim de Pesquisa, 16).

PEIXOTO, J. R.; SANTOS, L. C.; RODRIGUES, F. de A.; JULIATTI, F. C.; LYRA, J. R. M. Seleção de clones de batata-doce resistentes a insetos de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 34, n. 3, p. 385-389, 1999.

PRESTES F. Potência em biodiesel, Rio Grande do Sul quer aumentar a produção de etanol. 4/12/2013, 2013. Disponível em: < www.sul21.com.br/.../potencia-em-biodiesel-rs-quer-aumentar-a-produc...>. Acesso em: 01 out. 2014.

QUEIROGA, R. C. F de; SANTOS, M. A. dos; MENEZES, M. A. de; VIEIRA, C. P. G.; SILVA, M. da C. Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 25, n. 3, p. 371-374, 2007.

RAGAUSKAS, A. J.; WILLIAMS, C. K.; DAVISON, B. H.; BRITOVSEK, G.; CAIRNEY, J.; ECKERT, C. A.; FREDERICK JUNIOR, W. J.; HALLETT, J. P.; LEAK, D. J.; LIOTTA, C. L.; MIELENZ, J. R.; MURPHY, R.; TEMPLER, R.; TSCHAPLINSKI, T. The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. **Science**, v. 311, n. 5760, p. 484-489, 2006.

RASOVSKY, E. M. **Álcool – Destilarias**. Instituto do Açúcar e do Álcool - IAA, Coleção Canavieira, Rio de Janeiro, 12, 1979.

RESENDE, G. M. Características produtivas de cultivares de batata-doce sob condições irrigadas e de sequeiro na região norte de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 17, n. 2, p. 151-154, 1999.

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

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Embrapa Milho e Sorgo: Embrapa Informação Tecnológica, Brasília-DF, 2003. 317 p.

RIBEIRO FILHO, J. **Cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* *poir*)**. Viçosa, Minas Gerais. UREM-ESA, Imprensa Universitária, 1967. 99 p.

RISSO, R. dos S. **Etanol de batata-doce: otimização do pré-processamento da matéria-prima e da hidrólise enzimática**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2014.

RIZATO, M.; FELIPE, F. I. Potencial econômico da produção de álcool de mandioca no Norte do Brasil. Artigo apresentado no XIII Congresso Brasileiro da Mandioca, Piracicaba, São Paulo, 2009. Disponível: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/.../potencial-economico-da-producao-de-alcool-de-mandioca...>>. Acesso em: 27 fev. 2017.

RODRIGUES, L. G. da S. M.; RODRIGUES, F. M. Composição química-bromatológica do resíduo de biocombustível de batata-doce (*Ipomoea batatas* (Lam)). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, Goiás, v. 8, n. 14, p. 234-245, 2012.

ROSADO JÚNIOR, A. G. Análise da viabilidade econômica da produção de bio-etanol. **XVI Congresso Brasileiro de Custos**, 03 a 05 de novembro de 2009, Fortaleza, Ceará, 2009. 15 p. Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/download/945/945>>. Acesso em: 27 fev. 2017.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho**. 2008, 168 f. Tese (Doutorado em energia na agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Agrônomicas-FCA, Botucatu, São Paulo, 2008.

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

SENTELHAS, P. C.; FARIA, R. T. de; CHAVES, M. O.; HOOGENBOOM, G. Evaluation of the WGEN and SIMMETEO weather generators for the brazilian tropics and subtropics, using crop simulation models. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 9, n. 2, p. 357-376, 2001.

SERAFIM, J. S. V.; LIMA, D. de; SANTANA, W. R.; SANTOS, G. F. dos; SÁGIO, S. A.; SILVEIRA, M. A. Avaliação dos diferentes genótipos do banco de germoplasma de batata-doce para a produção de etanol. **X Workshop Agroenergia Materias-Primas**, 22 e 23 de junho de 2016, Ribeirão Preto, São Paulo, 2016.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A. **Cultura de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]**. Brasília: EMBRAPA - CNPA, 1995. 18 p. (Instruções técnicas - EMBRAPA - CNPH, 7).

SILVA, J. B. C. da; LOPES, C. A.; MIRANDA, J. E. C. de; FRANCA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W. **Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH (EMBRAPA-CNPH. Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças, 7), 1995. 18 p.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3 ed.: Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa, Minas Gerais, 2002. 235 p.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Cultura da Batata-doce**. In: Marney Pascoli Cereda. (Org.). Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas. Fundação Cargill, São Paulo, 2002, v. 4, p. 448-504.

SILVA, J. B. C. da; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. Embrapa Hortaliças. Sistemas de Produção. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPq, 2008. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 15 de mar. de 2014.

SILVA, J. C. **Performance agronômica de genótipos de batata-doce obtidos de sementes botânica com potencial para produção de etanol**. 2010a. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Tocantins-UFT, Campus Universitário de Gurupi, Gurupi, Tocantins, 2010a.

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**. 2010b. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins-UFT, Palmas, Tocantins, 2010b.

SILVA, G. O. da; SUINAGA, F. A.; PONIJALEKI, R.; AMARO, G. B. Desempenho de cultivares de batata-doce para caracteres relacionados com o rendimento de raiz. **Revista Ceres**, Viçosa, Minas Gerais, v. 62, n. 4, p. 379-383, 2015.

SILVEIRA, M. A. da; CAMPOS, G. A.; ANDRÉ, C. M. G.; BESSA, G. F.; NOGUEIRA, S. R.; SILVA, V. A. G.; OLIVEIRA, H. C.; RODRIGUES, S. S. S.; SANTANA, W. R.; TAVARES, I. B.; CARNEIRO, F. J. M. Resistência de clones de batata-doce coletados no Estado do Tocantins a insetos de solo e nematoides causadores de galhas. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 20, n. 2, p. 291-298, 2002.

SILVEIRA, M. A. Batata-doce: uma nova alternativa para a produção de etanol. In: Instituto Euvaldo Lodi/Núcleo Central. **Álcool combustível**. Brasília-DF: IEL/NC, 2008. p. 109-122. (Série indústria em perspectiva).

SILVEIRA, M. A. da; SOUZA, F. R. de; ALVIM, T. da C.; DIAS, L. E.; SANTANA, W. R.; VITAL, M. de K. G. S.; GOUVÊA, G. R. dos S. R.; COSTA, D. M. **A cultura de batata-doce como fonte de matéria prima para etanol**. Laboratório de Sistemas de Produção de Energia a Partir de Fontes Renováveis-LASPER/UFT, Palmas, Tocantins, 2008. 44 p. (Boletim Técnico UFT).

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Cambridge, v. 98, n. 2, p. 91-97, 2006.

SMITH, W. E. J. M.; MANTENGO, L. O. Farmer's cultural practices and their effects on pest control in sweet potato in south Nyanza, Kenya. **International Journal of Pest Management**, v. 41, n. 1, p. 2-7, 1995.

SOARES, F. C. **Análise da viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2010. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

SOUZA, A. B. Avaliação de cultivares de batata-doce quanto atributos agrônômicos desejáveis. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, Minas Gerais, v. 24, n. 4, p. 841-845, 2000.

SOUZA, A. F. B. C. **Avaliação do processo de hidrólise e fermentativo de biomassa de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] por meio de células imobilizadas para produção de etanol**. 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins-UFT, Palmas, Tocantins, 2005.

TABORDA, L. W. **Avaliação da viabilidade técnica e econômica da produção de etanol em planta piloto a partir da batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.

TABORDA, L. W.; JAHN, S. L.; LOVATO, A.; EVANGELISTA, M. L. S. Avaliação da viabilidade técnica e econômica da produção de etanol em planta piloto a partir da batata-doce (*Ipomoea batatas*). **Custos e @gronegocio on line**, v. 11, n. 1, p. 245-262, 2015.

TAVARES, I. B. **Desenvolvimento de cultivares de batata-doce e técnicas de bioprocessamento visando à implantação de mini-usinas de álcool combustível como alternativa para pequenas e médias propriedades na região Norte**. 2006. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins-UFT, Palmas, Tocantins, 2006.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch - composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 151-165, 2004.

TIAN, Y.; ZHAO, L.; MENG, H.; SUN, L.; YAN, J. "Estimation of un-used land potential for biofuels development in (the) People's Republic of China". **Article in press to Applied Energy**, Sweden, Page 77-85, 2009.

TOGARI, Y. A study on the tuberous root formation of sweet potatoes. **Bull. Nat. Agr. Exp. Statn. Tokyo**, v. 68, p. 1-96, 1950.

THOMPSON, P. G.; SMITTLE, D. A.; HALL, M. R. Relationship of sweetpotato yield and quality to amount of irrigation. **HortScience**, v. 27, n. 1, p. 23-26, 1992.

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. O etanol no Brasil e no mundo e o futuro, 2006. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/convidados/.../o-etanol-no-brasil-e-no-mundo-e-o-futuro/>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

VERNIER, P.; VARIN, D. La culture de la patate douce. **Agriculture et développement**, n. 3, p. 54-63, 1994.

VIEIRA, A. D.; MIRANDA, V. C.; ALVES, A. F.; TAVARES, A. T.; MOMENTÉ, V. G. Avaliação Agrônômica de clones de batata doce com potencial para produção de etanol. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, Paraná, v. 8, n. 1, p. 69-74, 2015.

VILAS BOAS, B. M.; OKUMURA, H. H.; MALUF, W. R. Cultivo da batata-doce. **Boletim Técnico de Hortaliças**. Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras, Minas Gerais, n. 42, p. 1-5, 1999.

WESCHENFELDER, S. C. **Aplicação do custeio baseado em atividades na determinação do custo de produção de etanol a partir do sorgo sacarino em pequena unidade de produção**. 2011. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

WILSON, L. A. The process of tuberization in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Tropical Root and Tuber Crops Tomorrow: Proceedings of the 2nd International Symposium on Tropical Root and Tuber Crops (Hawaii, 1970) (Plucknett, D. L., ed.), v. 1, p. 24-26. Honolulu, Hawaii: College of Tropical Agriculture, University of Hawaii, 171 p. (2 v), 1970.

WILSON, L. A. Tuberization in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Sweet potato: Proceedings of the 1st International Symposium (Taiwan, China, 1982) (Villareal, R. L. and Griggs, T. D., eds), p. 79-94. Shanhua, Taiwan, China: Asian Vegetable Research and Development Center, 1982. 481 p.

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". Article in press to **Biomass & Bioenergy**, Auburn-USA, page 1-6, 2009.