



Artigo de Revisão

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, POTENCIAL DE USO E ASPECTOS POLUENTES DE TRÊS CULTIVARES DE BATATA-DOCE ANTES E APÓS A FERMENTAÇÃO ETÍLICA

Wallace Aniszewski Távora e Silva ^{1*}, Flávia Lucila Tonani de Siqueira¹, Guilherme Benko de Siqueira¹

¹ Universidade Federal do Tocantins.

*Autor para correspondência: wallace@uft.edu.br

INFO ARTIGO

Histórico do artigo
Recebido: 26/02/2017
Aceito: 27/03/2017

Palavras chaves:
Reaproveitamento
cadeia produtiva,
biocombustíveis.

Keywords:
Reuse
productive chain
biofuels.

RESUMO

A possibilidade de se utilizar os resíduos agroindustriais para fins que agreguem valor a sua cadeia produtiva pode ser um fator determinante para a viabilidade econômica e industrial da atividade. Portanto, neste trabalho foi avaliado a composição química do resíduo da Batata doce (RDB) antes e após a fermentação visando identificar suas potencialidades de uso e os aspectos poluentes. Com base na composição química do RDB conclui-se que trata-se de um resíduo sólido que não pode ser lançado diretamente em corpos hídricos mas que possui potencialidades para fertirrigação com o uso in natura e pode ser classificado como fonte de alimento concentrado proteico rico macro e micro minerais, havendo, no entanto, a necessidade de secagem para que este seja utilizado na alimentação animal.

ABSTRACT

The possibility of using agro-industrial waste for purposes that add value to your supply chain can be a determining factor in the economic and industrial viability of the activity. Therefore, this study evaluated the chemical composition before and after fermentation of sweet potato residue (SPR) to identify their potential use and polluting potential. Based on the chemical composition of the SPR, we conclude that it is a solid residue which can not be released directly into water bodies but has the potential to fertigation when used fresh (in natura) and can be consider as a source of protein and macro and micro minerals, having, however, to be drying before utilization on animal feed plans.

1. Introdução Geral

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), uma planta amplamente utilizada na alimentação humana e de animais domésticos vem proporcionando grandes perspectivas para a área agroenergética, principalmente porque esta planta sintetiza grandes quantidades de amido passíveis de serem convertidos em etanol. Seu fácil cultivo e baixas exigências de fertilidade do solo se configuram atualmente, como forma de inclusão do agricultor familiar na produção de biocombustíveis (SILVEIRA et al., 2008; PAVLAK et al., 2011; SOUZA, 2000).

O cultivo da batata-doce é uma prática que ocorre há mais de dez mil anos. Este vegetal tem como seu provável centro de origem a América do Sul ou América Central,

estendendo-se desde a Península de Yucatam, no México, até a Colômbia (NELSON & ELEVITCH, 2011).

Com a crescente busca por alternativas alimentares e fontes renováveis de energia, o cultivo da batata-doce tem crescido de forma significativa, ganhando grande destaque nas últimas décadas (ISLAM, 2006), principalmente por apresentar alto valor nutritivo, sendo boa fonte de carboidratos, vitaminas, cálcio, ferro, e outros minerais (LERNER, 2001).

Apesar de sua importância, são poucos os trabalhos de pesquisas visando selecionar e recomendar cultivares de batata-doce para diferentes regiões do país. Sabe-se que tanto a introdução quanto a obtenção de cultivares, de qualquer espécie cultivada, constitui um trabalho contínuo e dinâmico, pois as novas cultivares selecionadas permanecem em uso durante alguns anos, para serem substituídas por outras superiores (SILVA & LOPES, 1995).

A preferência de consumo de I. batatas concentra-se nas raízes, a parte aérea, é na maioria das vezes, descartada ou fornecida como alimento para animais. Entretanto, em algumas partes do mundo há populações que utilizam suas folhas da mesma forma que se consome outras hortaliças (WOOLFE, 1992; SONG et al., 2011), fato que tem motivado a investigação dos constituintes químicos da referida parte vegetativa (MIYAZAKI et al., 2005; ISLAM, 2009).

Entre os processos agroindústrias que mais geram resíduos, destaca-se a produção de etanol, devido ao grande volume de vinhaça gerado com alta carga poluidora, podendo causar sérios problemas ambientais caso não sejam adotadas medidas adequadas para o seu aproveitamento, tratamento ou destino final (MENEZES, 1980).

Silveira et al. (2008) demonstraram a potencialidade da batata-doce na produção de etanol, em condições experimentais obtiveram rendimento médio de etanol de 199 litros ha⁻¹. Também relataram que a produção de resíduo obtido correspondeu entre 20-25% do material original, sendo proveniente da fermentação dos carboidratos pelas leveduras e apresentou elevado teor de proteína bruta.

Devido o Resíduo da Batata-doce (RBD) ser predominantemente composto de água há importantes limitações para destinações e aplicações pós-processamento, o baixo teor de matéria seca pode inviabilizar processos industriais que dela façam uso, além de possuir elevado custo de armazenamento e transporte. Devido a isso, a destinação dada a esse resíduo é muitas vezes para atividades coparticipadas da indústria que a produz ou para atividades agrossilvipastoris localizadas no entorno da indústria. Além disso, após o processamento industrial com o passar do tempo o resíduo vai sendo alterado em suas propriedades bromatológicas e também sofre decomposição pela ação de microorganismos. Com isso não se pode garantir a qualidade do material para determinando fim e consequentemente há um aumento no risco de malefícios que sua destinação após estocagem prolongada poderá causar.

O conhecimento das quantidades geradas e as principais características físicas e químicas dos resíduos agroindustriais é fundamental para a concepção e o dimensionamento dos sistemas de tratamento ou reuso.

O aproveitamento de resíduos agroindustriais advindo do processamento de matérias primas de maior valor agregado tornou-se um gargalo em cadeias pouco produtivas ou que apresentem pouca informação em algumas de suas etapas, pois a utilização incorreta desses resíduos representa perda de nutrientes, aumento do potencial poluidor, que se associado à disposição inadequada, causam poluição do solo, corpos hídricos e lixiviação de compostos (ROSA et al., 2011).

A possibilidade de uso dos resíduos agroenergéticos e a agregação de valor as suas respectivas cadeias produtivas, pode ser um fator determinante para a viabilidade econômica da atividade. Portanto, aspectos como quantidade de resíduo gerado, composição químico-bromatológica, técnicas de armazenamento, transporte e estabilidade durante o armazenamento devem ser estudadas para orientar a aplicabilidade e desenvolvimento de processos tecnológicos para a destinação adequada do mesmo.

2. Referencial Teórico

2.1 - Resíduos Agroindustriais

A agroindústria tem se expandido cada vez mais para atender a crescente demanda populacional por alimentos. O Brasil, que economicamente é fortemente alicerçado no agronegócio, contribui para a geração de grande volume de resíduos agroindustriais que em muitas situações, representam um grave problema ambiental, pois

aparentemente sem aplicação viável, são descartados diretamente no meio ambiente (QUEIROZ, 2009).

Segundo Demajorovic (1995) resíduos sólidos diferenciam-se do termo lixo porque, enquanto este último não possui nenhum tipo de valor, já que é aquilo que deve apenas ser descartado, os primeiros possuem valor econômico agregado, por possibilitarem reaproveitamento no próprio processo produtivo.

De acordo com Timofiecsyk e Pawlowsky (2000), o termo resíduo é utilizado em sentido amplo, englobando não somente sólidos como também os efluentes líquidos e os materiais presentes nas emissões atmosféricas.

O desenvolvimento e implementação de processos sustentáveis, capazes de converter biomassa em vários produtos com alto valor agregado, é uma necessidade absoluta para o aproveitamento dos resíduos agroindustriais brasileiros e redução do impacto ambiental associado ao descarte inadequado dos mesmos (SÁ; CAMMAROTA; FERREIRA-LEITÃO, 2014).

Em um mundo globalizado, onde parte significativa da população encontra sérias dificuldades diariamente para conseguir alimento, é inconcebível que uma atividade agroindustrial continue desperdiçando resíduos que potencialmente poderiam ser reutilizados para outros fins (MORETTI; MACHADO, 2006).

Bertoncini (2014) comenta que a pesquisa tem proporcionado avanços no uso de resíduos agroindustriais, porém, é emergente, contudo, que haja maior entrosamento entre o setor de pesquisa, órgãos ambientais e os setores produtivos, pois produzir bens e alimentos é necessário, contudo, produzir de forma sustentável deve ser a meta de toda a sociedade.

Assim como aconteceu na indústria, o desenvolvimento do agronegócio e a transformação dos alimentos levaram a geração de muitos resíduos, sendo que estes são um dos principais problemas ambientais, não só no Brasil, mas no mundo (GIORDANO, 2000).

Segundo levantamento do IPEA (2012) com base em dados do IBGE (2010), foram feitas estimativas da quantidade dos resíduos da agroindústria brasileira produzidos por cada cultura agrícola e que foram estimados em termos percentuais considerando os estados mais atuantes na produção da referente cultura. Os resultados obtidos por este estudo foram sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Percentual de resíduos gerados por culturas agrícolas permanentes e temporárias.

Cultura	Resíduos (%)
Culturas temporárias	
Soja	73
Milho	58
Cana-de-açúcar	30
Feijão	31,30
Arroz	20
Trigo	60
Culturas permanentes	
Café	50
Cacau	38
Banana	50
Laranja	50
Côco-da-baía	60
Uva	40

Fonte: Adaptado de IPEA (2012)

Ao mesmo tempo que aumenta a produção de resíduos agroindustriais o cenário mundial força alterações na matriz energética de forma que as fontes de origens fósseis possam ser substituídas por fontes energéticas renováveis e menos

poluentes. Neste contexto, os resíduos da agroindústria e os próprios produtos agrícolas representam grandes potenciais e podem trazer grandes contribuições para diversificação da matriz energética.

2- A produção de etanol de batata-doce

A produção de etanol de batata-doce já é uma realidade em alguns estados do Brasil e de acordo com estudos realizados por Gonçalves Neto et al. (2011), demonstram que genótipos selecionados considerados aptos para a finalidade de produção de etanol, apresentam potencial competitivo em comparação a cana-de-açúcar atingindo 7.078,40 L.ha⁻¹ a 15.484,00 L.ha⁻¹ corresponde a uma produtividade de raízes de 44,8 t.ha⁻¹ e 98,0 t.ha⁻¹ de produtividade de raízes, respectivamente. Silveira (2008) obteve resultados com base na produção de 170 L.t⁻¹ de raízes e possibilidade de obtenção de produtividade de raízes na ordem de 40 t.ha⁻¹ a 60 t.ha⁻¹.

Desde os anos 70 muitos pesquisadores já buscavam desenvolver combustível a partir da batata-doce. Os pioneiros brasileiros nessa iniciativa foram Araújo et al. (1978) que obtiveram uma produtividade de 158 L.t⁻¹ de raízes, porém, na época, a baixa produtividade era fator limitante. Atualmente, o rendimento médio de etanol para a cana-de-açúcar é de 7.500 L.ha⁻¹ (NOVA CANA, 2015) e a perspectiva é que se chegue a 13.000 L.ha⁻¹ com hidrólise do bagaço e palha da cana-de-açúcar (UNICA, 2008).

Além da alta produtividade, a batata-doce permite dois cortes anuais, é adaptada a condições adversas e ao contrário da cana de açúcar adapta-se bem tanto em grandes extensões produtivas quanto para a escala da agricultura familiar, sendo podendo representar uma oportunidade socioeconômica importante para as novas regiões de fronteira agrícola onde a participação da agricultura familiar é bastante expressiva. Outra aspecto a se considerar esta relacionado a possibilidade de produzir etanol de batata doce na entressafra da cana-de-açúcar.

A produção em maior escala já está sendo adotada nos estados do Tocantins, Mato Grosso e Paraná. No estado do Tocantins, recentemente foi instalada uma usina para produção de álcool de batata-doce com capacidade para produzir 3.000 l de etanol por dia, mas este não será o único produto, além do etanol, vão ser produzidas a glicose, álcool em gel e com o resíduo da fermentação etílica da batata-doce poderá se tornar uma fonte alternativa de nutrientes para animais. Contudo, é um programa que também pode produzir açúcar, farinha, amido, CO₂ e gás metano.

A produção de etanol em Mato Grosso poderá aumentar em quase 60%, com a obtenção de cerca de 510 mil litros, considerando apenas uma safra de batata-doce por ano. A estimativa é que em dois anos o Estado tenha condições de produzir em torno de 30 mil hectares de batata-doce (SILVA, 2013).

Os combustíveis provenientes da biomassa como o biodiesel e o álcool etílico constituem o foco das alternativas energéticas sustentáveis na atualidade (TÁVORA, 2010). A grande vantagem na utilização de produtos derivados da biomassa para fins energéticos é que essa matéria prima apresenta baixo valor agregado e é abundante na natureza (BEVILAQUA, 2010), questão essa que poderá ser fortalecida cada vez mais com o desenvolvimento científico e tecnológico na investigação e aplicação dos seus diversos produtos agregados (KAMM ET al, 2006).

A batata-doce apresenta uma produção de biomassa elevada, isso associado à rusticidade da cultura, seu plantio é adequado como alternativa agrícola para a cultura familiar. Resultados preliminares têm demonstrado que um hectare de raiz de batata-doce rende de 30 a 40 toneladas de biomassa, enquanto uma tonelada de cana-de-açúcar gera em torno de 80 litros de álcool, a mesma quantidade de batata-doce pode

gerar mais de 130 litros do combustível (SILVEIRA et al, 2008; CASTRO & EMYGDIO, 2009).

2.3 - Características Gerais Da Batata-Doce

2.3.1. - A cultura da batata-doce

Dentre as biomassas com potencial para produção de biocombustível no Brasil temos a batata-doce uma angiosperma dicotiledônea, pertencente à família Convolvulaceae e da ordem das Salanales (WOOLFE, 1992; HAND & COCKERHAM, 1921; HUAMAM, 1992), que é uma grande família vegetal, abrangendo cerca de 55 gêneros e mais de 1900 espécies encontradas em regiões tropicais e subtropicais do planeta (JUDD et al., 1999). Em relação as plantas do gênero *Ipomoea* L., que conta com cerca de 600 espécies, são as mais representativas (SIMÃO-BIANCHINI, 1998).

A espécie *I. batatas* é composta por vegetais perenes com morfologias diversificadas. A parte aérea da planta é formada por um caule herbáceo rastejante prostrado do tipo estolho, com nós e entrenós bem definidos, que pode se dispor na horizontal rente ao solo, ou na vertical com crescimento ereto e semi-ereto, apresentando hastes longas em algumas variedades, ou ramos pouco desenvolvidos em outras. Das regiões nodais do caule partem ramos foliares, sustentadas por um pecíolo pubescente com 5 a 30 centímetros de comprimento (NELSON; ELEVITCH, 1992).

Ainda segundo Nelson e Elevitch (1992), estes ramos foliares podem apresentar coloração que varia de verde a roxo e formato que pode variar de arredondado, reniforme, cordado, triangular, hastado, lobado a secto. Na planta adulta, alguns ramos podem ainda conter flores de colorações lilás ou arroxeadas presas através de um longo pedúnculo. Tais flores são hermafroditas, mas de fecundação cruzada, devido à sua autoincompatibilidade, que por meio de polinizadores produz pequenos frutos secos deiscentes, com poucas sementes, mesmo em boas condições ambientais.

Nas regiões dos ramos de *I. batatas* que entram em contato com o solo, desenvolvem-se subterraneamente estruturas radiculares com diferentes formatos e cor, que pode variar de acordo com a cultivar, ou em decorrência das condições de solo. Com base no papel que desenvolvem na planta, as raízes de *I. batatas* podem ser classificadas em dois tipos fundamentais, raízes de absorção e raízes de reserva. As raízes de absorção são as responsáveis pela nutrição e suporte da planta, enquanto que as raízes de reserva representam a parte de maior interesse na agricultura, por apresentar grande capacidade no armazenamento de substâncias nutritivas, principalmente carboidratos, destacando-se mais o amido (HUAMAM, 1992).

As raízes de reserva de *I. batatas* pode adquirir diversas variações morfológicas, desde o formato até a coloração da película externa e polpa. Seu formato pode ser redondo, oblongo, fusiforme ou alongado e ainda podem apresentar veias, dobras e possuir pele lisa ou rugosa. Estas se dispõem na planta de forma dispersa ou formando agrupamentos abertos (HUAMAM, 1992). A película externa pode ser branca rosada ou avermelhada e a polpa geralmente é de cor branca, amarela ou creme (SILVEIRA et al., 2008), ainda segundo Huamam (1992) é dotada de um látex proveniente da medula central do parênquima, que pode variar em concentração dependendo do desenvolvimento da planta e das condições ambientais.

Ainda segundo Huaman (1992), a classificação sistemática da batata-doce se resume em:

Família: Convolvulaceae
Tribo: Ipomoeae
Gênero: *Ipomoea*

Sub-gênero: Quamoclit
Secção: Batatas
Espécie: Ipomoea batatas (L.) Lam

O cultivo da batata-doce é uma prática que ocorre há séculos. Este vegetal tem como seu provável centro de origem a América do Sul ou América Central, estendendo-se desde a Península de Yucatam, no México, até a Colômbia (NELSON; ELEVITCH, 2011).

Tradicionalmente seu cultivo é realizado em conjunto com diversas outras culturas e é exercido de forma empírica por famílias rurais, visando a alimentação humana e de animais domésticos (SILVA et al., 2006). Apresenta boa produtividade em regiões com 750 a 1000 mm anuais de chuva, com cerca de 500 a 600 mm bem distribuídos durante os cinco meses de ciclo da cultura (MIRANDA et al., 1987). O potencial de produção da batata-doce é enorme. Vários autores relatam diferentes produtividades para a cultura, geralmente variando entre 10 e 30 t ha⁻¹ (MIRANDA et al., 1987; CAMARGO, 1962). A batata-doce é cultivada em todas as regiões do Brasil.

O Brasil é o 18º maior produtor mundial de batata-doce, com uma produção anual em 2013 de 505.350 t, obtida em uma área plantada de 39.393 ha (FAO, 2012; IBGE, 2013). Embora o Nordeste apresente a maior área plantada, com 40,2% seu rendimento médio de 9,43 t.ha⁻¹ é baixo quando comparado com o da região Sul, com uma produtividade média de 14,35 t.ha⁻¹, que representa 44,98% da produção nacional, obtida em uma área plantada de 15.835 ha. Já as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte, apresentam, respectivamente, rendimentos médios por área do país, com 17,39 t.ha⁻¹, 31,53 t.ha⁻¹ e 12,46 t.ha⁻¹ de acordo com dados do IBGE (2013).

Apesar de ser uma planta perene a I. batatas é muito cultivada como cultura anual, por meio de propagação vegetativa com raízes ou estacas (HUAMAM, 1992). Entre os fatores que influenciam no desenvolvimento das plantas de I. batatas estão as condições do solo como fertilidade, textura e condições de drenagem. Tal fator é observado por diversos autores, para citar alguns temos Rós; Filho e Barbosa (2014), Silveira et al. (2014), Silva; Lopes e Magalhães (2004) e Malavolta (1987).

Em contrapartida Hand e Cockerham (1921) relatam que a baixa fertilidade do solo às vezes pode ser compensada por uma boa textura do mesmo podendo, em solos bem drenados, apresentar excelente desenvolvimento, mesmo em solos pobres. Já a importância do potássio para culturas amiláceas, segundo Malavolta (2006), está no fato que este composto está envolvido na síntese de proteínas e sua deficiência provoca aumento do teor de carboidratos solúveis e decréscimo no conteúdo de amido e acúmulo de nitrogênio solúvel.

A utilização do nitrogênio merece atenção especial, pois seu excesso causa crescimento desordenado da parte aérea, em detrimento da formação de raízes tuberosas (Chaves; Pereira, 1995). Portanto, o ideal é acompanhar o crescimento da cultura e aplicar o nitrogênio na época certa e em quantidade adequada (Silva et al., 2006).

Outro fator a ser considerado na cultura da I. batatas é a questão do fotoperíodo, pois segundo Nelson e Elevitch (2011), o comprimento de dia curto estimula desenvolvimento de raiz, enquanto que comprimento de dia longo estimula desenvolvimento de broto. Conseqüentemente, durante o período de cultivo em que a temperatura do ar é mais alta e o comprimento de dias mais longos, a colheita pode ser realizada com 4 a 5 meses após o plantio. Em locais mais frescos ou em estações de comprimento de dia mais curto, as plantas só estarão prontas a partir de 5 a 6 meses de plantio. No entanto, a influência das condições de solo e clima sobre I. batatas podem também variar de uma cultivar para outra.

2.3.2 -Composição química da batata-doce

A análise química dos tecidos vegetais, refere-se às operações efetuadas no laboratório e compreende a destruição da matéria orgânica e quantificação dos elementos químicos que a compõem. A Figura 1 resume os passos que a amostra percorre no laboratório para essas determinações analíticas. A descrição detalhada das metodologias utilizadas na análise química não é objetivo desse trabalho e podem ser encontradas em diversas literaturas, citando-se algumas (MALAVOLTA et al, 1997; SILVA, 1999; BATAGLIA et al, 1983).

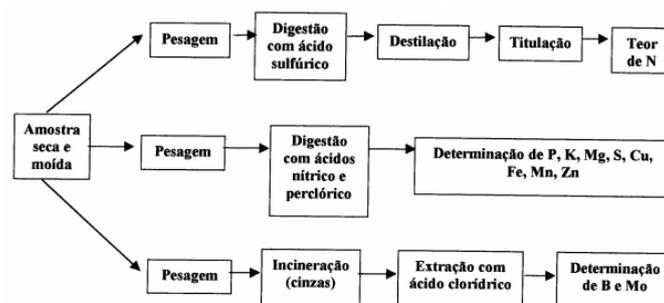


Figura 1 – Passos para determinação analítica dos nutrientes em laboratório. Fonte: Faquin (2002).

Destaca-se que a pesagem das sub-amostras recomendadas na metodologia para as análises químicas, deve ser precedida de uma nova secagem e homogeneização cuidadosa da amostra. Isso se justifica para que toda a umidade eventualmente adquirida pela amostra durante o armazenamento seja suprimida e, também, para uniformização das partículas finas e grossas, principalmente quando as plantas possuem materiais fibrosos e não fibrosos (FAQUIN, 2002).

As determinações dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), pH, podem ser realizadas de acordo com os métodos descritos pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC) e pelo Instituto Adolfo Lutz (AOAC, 1995; IAL, 2005).

O teor de matéria seca é determinado com a determinação da primeira matéria seca (65° C por 48h) e posterior secagem a 105° C por 4 horas, conforme Silva e Queiroz (2002). A concentração de proteína bruta pode ser determinada pela quantificação de nitrogênio total da amostra, utilizando-se o destilador Kjeldhal de acordo com o método do Instituto Adolfo Lutz, sendo que o teor de nitrogênio é convertido em teor de proteína multiplicando-se o valor encontrado pelo fator 6,25 (AOAC, 1995; IAL, 2005).

Com base na Tabela 2 pode ser observado uma comparação de composições químicas e bromatológicas de diferentes pesquisadores que mostram que a batata-doce não é apenas rica em carboidratos, apresentando também proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerais como cálcio, fósforo e potássio, apresentando-se como uma matéria-prima rica em nutrientes, contudo possui uma grande quantidade de água.

Tabela 2: Composição química e bromatológica de batata-doce crua.

Composição	Batata-doce <i>Ipomoea batatas</i> (EPM, 2014)	Batata-doce amarela (Luengo et al, 2011)	Batata-doce <i>Ipomoea batatas</i> (Bradbury, 1998 apud Cortez, 2010)
Umidade (%)	77,28	72,84	71,10
Matéria seca (g)	-	234,20	-
Calorias (kcal)	86	125,5	104,61
Fibras digeríveis (%)	3	1,10	1,64
Proteína (%)	1,57	-	1,43
Amido (%)	12,65	-	20,1
Açúcar (%)	4,18	-	2,38
Minerais (mg 100 g⁻¹)			
Potássio	337	204	260
Sódio	55	36,60*	52
Fósforo	47	-	51
Enxofre	-	-	13
Magnésio	25	10	26
Zinco	0,30	0,28	0,59
Manganês	0,26	-	0,11
Cobre	-	0,17	0,17
Cálcio	30	43	29
Ferro	0,61	2,40	0,49
Boro	-	-	0,10
Vitaminas (µg 100 g⁻¹)			
Vitamina A - Ácido retinóico	709	300	11
Vitamina B1 - Tiamina	78	110	86
Vitamina B2 - Riboflavina	61	40	31
Vitamina C - Ácido ascórbico	2400	31	24
Vitamina B3 - Ácido nicotínico	-	0,80	0,60

Fonte: Adaptado de EPM (2014); Luengo et al, 2011 e Bradbury (1998) apud Cortez et al, (2010). *Teor para batata-doce roxa.

Segundo Miranda et al., (1989), os brotos de batata-doce, são usados em alguns países para a alimentação humana. O seu conteúdo de vitamina A e vitamina C, por 100g, alcançam respectivamente 5.580 UI e 41 mg nos últimos 15 cm das ramas (com as folhas). O seu teor proteico é mais alto que o das raízes, chegando a 2,7% com base no material contendo 86,1% de umidade.

2.3.3 - A batata-doce como fonte de biomassa para a produção de etanol

Com a crescente busca por alternativas alimentares e fontes renováveis de energia, o cultivo da batata-doce tem crescido de forma significativa, ganhando grande destaque nas últimas décadas (ISLAM, 2006), isto tem sido fortalecido cada vez mais com crescentes descobertas a respeito de seu potencial nutricional e benefícios para a saúde humana (ISLAM, 2009).

Biomassa é constituída principalmente pela matéria orgânica embora apresente uma fração mineral em sua composição. São principalmente os resíduos de plantas. No campo da energia, o termo biomassa é usado para descrever todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia utilizável como, madeira, resíduos urbanos e florestais, grãos, talos, óleos vegetais e lodo de tratamento biológico de efluentes. A energia extraída da

biomassa é também conhecida como "energia verde" ou "bioenergia" (BOA NOVA, 1985).

A batata-doce vem sendo uma importante fonte de biomassa para produção de etanol com cultivares geneticamente selecionados, apontada como uma das melhores fontes de obtenção de etanol e está associada a um baixo custo de produção (MAGALHÃES, 2007; MOMENTÉ et al, 2004) o que beneficia tanto pequenos produtores quanto grandes latifundiários.

O Brasil apresenta características adequadas à produção de biomassa para fins energéticos, devido sua base econômica ser voltada para a atividade agrícola, além de se destacar mundialmente como precursor desta tecnologia. Segundo Leal et al. (2010) apud Cortez et al. (2010), apesar do seu potencial como matéria-prima alternativa para a produção de energia, existem poucos trabalhos de pesquisa com a cultura da batata-doce, uma vez que a maioria dos programas de melhoramento e seleção de genótipos visa, geralmente, características de aceitação comercial como aspecto visual e estético. Contudo, é importante que seja fortalecido o conceito de cultura alternativa para produção de etanol, tendo assim os melhoramentos e as seleções de clones de batata-doce voltados na obtenção de genótipos de alta produtividade de raízes e com alto teor de amido e não apenas voltado para obter melhores aspectos visuais.

O trabalho realizado por Silveira et al. (2008) na Universidade Federal do Tocantins - UFT teve com objetivo produzir variedades de batata-doce para produção de etanol através de técnicas de melhoramento genético com cultivares já naturais e utilizados no estado do Tocantins, onde conseguiram obter variedades de batata-doce com excelente produção de amido e adaptação ao solo e clima da região, mas que apresentaram diferentes tempos de maturidades entre as mesmas, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Cultivares de batata-doce selecionados e avaliados para produção de etanol nas condições do Estado do Tocantins - Universidade Federal do Tocantins - UFT (1997-2007).

Cultivares	Amido %	Etanol L/t	Etanol L/ha	Ciclo/mês	Casca	Polpa
Duda	24,4	161,04	10467,00	6 - 7	Roxa	Branca
Amanda*	21,4	141,24	6595,00	4 - 5	Branca	Creme
Ana Clara	23,4	154,44	7057,90	6	Rosada	Creme
Beatriz*	26,2	172,92	7435,56	6	Branca	Creme
Julia	24,6	162,36	6585,32	4 - 5	Branca	Branca
Bárbara*	23,2	153,12	5772,62	6 - 7	Roxa	Creme
Izabela	18,8	124,08	4615,77	4 - 5	Branca	Creme
Marcela	22,2	146,52	5391,93	6	Rosada	Creme
Livia	25,1	165,66	6030,02	6	Rosada	Creme
Carolina	30,2	199,32	6412,12	6 - 7	Roxa	Branca

Fonte: Silveira et al., 2008

* As três cultivares exploradas neste estudo.

Ainda segundo Silveira (2008), os cultivares que se destacaram foram a Duda (65,5 t.ha⁻¹ de raízes, 40,4% de matéria seca e 24,4% de amido), Beatriz (43 t.ha⁻¹ de raízes, 33,2% de matéria seca e 26,2% de amido), Ana Clara (45,7 t.ha⁻¹ de raízes 35,4% de matéria seca e 23,4% de amido), Amanda (46,7 t.ha⁻¹ de raízes, 32,4% de matéria seca e 21,4% de amido) e Julia (40,6 t.ha⁻¹ de raízes, 37,4% de matéria seca e 24,6% de amido).

Segundo Fabri (2009), como a batata-doce pode ter fins múltiplos, torna-se necessário desenvolver e selecionar

cultivares específicos para cada finalidade, e incorporando nestas as principais características agrícolas desejáveis.

Dentre os cultivares obtidos por Silveira et al. (2008), pode-se destacar os seguintes cultivares:

AMANDA é uma cultivar com película externa branca e polpa creme. Apresenta polpa com baixo teor de fibras e moderada resistência aos insetos de solo. O formato das raízes é alongado, oval, redonda, desuniforme. Por ser uma cultivar apropriada para indústria, apresenta raízes graúdas, com pesos superiores a 500g. É uma cultivar de ciclo precoce, muito produtiva, podendo ser colhida a partir dos 120 dias até os 150 dias. A produtividade média obtida, no Tocantins, em ciclo de 5 meses foi de 46,7 t.ha⁻¹, com 32,35% MS. Os rendimentos obtidos com esta cultivar são de 141,24 L.t⁻¹ de etanol de raiz, o que pode conferir uma produtividade de 6.595 L.ha⁻¹ de etanol.

BÁRBARA é uma cultivar de película externa roxa, polpa creme, com formato variável, que pode ser alongado, com aspecto fusiforme e redonda. A colheita deverá ocorrer 180 dias após o plantio, portanto é uma cultivar de ciclo tardio. Apresenta moderada resistência aos insetos de solo. A produtividade verificada durante os cinco anos de ensaios, foi de 37,70 t.ha⁻¹, com 33,23% MS o que lhe confere uma produção de 153,12 L.t⁻¹ de etanol de raiz e 5.772,62 L.ha⁻¹ de etanol.

BEATRIZ é uma cultivar de película externa branca e de polpa creme. O formato das raízes é alongado, fusiforme e redondo. É uma cultivar de ciclo médio, devendo ser colhida até 180 dias. As produtividades obtidas nos últimos cinco anos foram de 43,00 t.ha⁻¹, com 33,24% MS. Os rendimentos para produtividade do cultivar foi 172,92 L.t⁻¹ de etanol de raiz, o que significa uma produção de 7.435,56 L.ha⁻¹ de etanol.

Pavlak et al. (2011) encontrou valores de produtividade entre 17.354 a 20.007 L.ha⁻¹ de etanol de batata-doce, enquanto Masiero (2012) demonstrou que a batata-doce possui um potencial para produção de etanol de 162 L.t⁻¹, comparando, inclusive, com a produtividade da cana que possui 97 l.t⁻¹ e da mandioca 194 L.t⁻¹. Além disso, o autor demonstrou que o custo de produção por litro de etanol da batata-doce é inferior ao da cana e da mandioca. Contudo, no processamento essas duas matérias-primas apresentaram custos 40% superiores às outras matérias-primas devido a etapa de hidrólise do amido. Finalmente, no custo da produção agrícola a diferença é significativa em relação as outras fontes de biomassa.

2.3.4 - Processo enzimático utilizado na produção de etanol

Na hidrólise por via enzimática é necessário a associação de dois tipos de enzimas específicas (CEREDA, 2005): a alfa-amilase, que diminui a viscosidade, e a glucoamilase, que transforma o amido liquefeito em açúcares de menor peso molecular (glicose). Para que a atuação enzimática seja mais eficiente, é realizado previamente o cozimento das raízes, para a gelatinização do amido, facilitando a ação das enzimas. A produção de etanol a partir da batata-doce, como fonte amilácea, com hidrólise do amido por via enzimática, segue uma linha industrial semelhante à fabricação de álcool de cereais.

O amido é um carboidrato formado por um polímero de glicoses com ligação tipo alfa-1,4 e alfa-1,6 e por isso pode ser transformado em suas unidades básicas de glicose, a qual poderá ser submetida a ação dos *Sacharomyces* (fermento alcoólico), produzindo o álcool etílico (MACEDO, 1993).

O amido é um polímero complexo, composto principalmente de amilose (polímero linear) e amilopectina (polímero ramificado). O polímero linear é fácil de ser rompido, mas a estrutura altamente ramificada da amilopectina é mais difícil de ser hidrolisada (CEREDA, 2005).

Os amidos podem ser convertidos em açúcares (glicose) por via química (ácidos, calor e pressão) ou por via enzimática (MACEDO, 1993). O processo ácido é o mais simples, sendo uma das vantagens deste processo o pequeno tempo de sacarificação. Mas como desvantagem, têm-se os problemas de corrosão dos equipamentos, a necessidade de correção da acidez da solução açucarada após a hidrólise, a destruição de alguns açúcares e a produção de açúcares não fermentescíveis. Dessa forma, o processo mais recomendado é o enzimático (MACEDO, 1993; SILVEIRA et al, 2014).

O esquema da Figura 2 e o fluxograma da Figura 3 ilustram como é o processo enzimático para obtenção do etanol por meio da batata-doce na mini-usina localizada no CTA - Centro Tecnológico Agroindustrial e Ambiental da UFT.

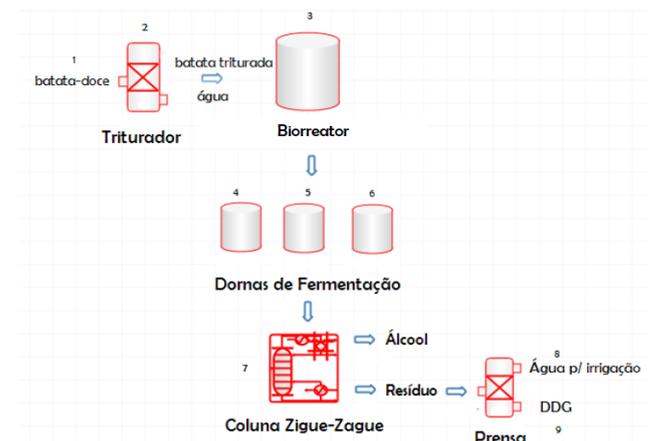


Figura 2 - Esquema do processo de produção de etanol utilizando raízes de batata-doce como matéria prima. Fonte: Silveira et al. (2014).

Segundo Silveira et al. (2014), a produção de etanol a partir da batata-doce, com hidrólise do amido por via enzimática, obedece às seguintes etapas:

1. As raízes são lavadas para remover as impurezas advindas do campo;
2. Depois de lavadas, as raízes são processadas em triturador para formar uma massa ralada (>0,5 mm);
3. A massa ralada de batata-doce obtida é despejada no Biorreator e adiciona-se água na proporção massa ralada/água 1:1, sob agitação. Quando a temperatura do meio atingir 60°C é adicionado a enzima liquidificante (alfa-amilase). Em seguida, o meio é aquecido gradualmente até 90°C e está temperatura é mantida por 1:30 h;
- 4, 5 e 6. O meio hidrolisado é resfriado e o pH ajustado para a faixa de 3,5 a 5,5. A sacarificação é realizada adicionando enzima (glucoamilase), quando o meio atingir 60°C. O meio hidrolisado deverá ser resfriado (30°C). Nesta fase o °Brix é quantificado, e adicionado água, caso esteja acima de 13° Brix. Finalizado esta diluição, o fermento de panificação (*Saccharomyces cerevisiae*) é inoculado numa concentração de 10 g/L de meio hidrolisado (Processo de Sacarificação e Fermentação Simultâneas, SSF). Nesta concentração de inóculo, o tempo de fermentação tende a durar 24h;
7. Finalizados estes processos, o álcool é separado da água através da destilação;
8. A água residual será destinada para irrigar a plantação;
9. O co-produto (DDGS - "Dried Distiller's Grains with Solubles") é separado através de prensa e destinado para formulação de ração.



Figura 3 – Fluxograma do processo de obtenção do etanol a partir da batata-doce.

A função biológica das enzimas adicionadas no processo supracitado é muito importante, segundo Macedo (1993), a enzima alfa-amilase liquefaz o amido, iniciando o processo de hidrólise e a amiloglucosidade sacarifica o amido e as dextrinas, convertendo-os em glucose para que as leveduras convertam o açúcar em etanol.

Diversos fatores, físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos, inibidores) e microbiológicos (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana), afetam o rendimento da fermentação, a eficiência da conversão de açúcar em etanol e conseqüentemente a composição do resíduo final. Geralmente as quedas na eficiência fermentativa decorrem de uma alteração estequiométrica do processo, levando à maior formação de produtos secundários (especialmente glicerol e ácidos orgânicos) e biomassa (LIMA et al. 2001).

2.4 - RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DA BATATA-DOCE

Os resíduos gerados da obtenção de etanol da batata doce são basicamente resíduos da cultura (parte aérea) e a vinhaça, semelhante aquela obtida com o processamento da cana de açúcar. O volume de resíduo aquoso gerado na produção de etanol a partir de batata-doce é de 6,4 litros para cada litro de etanol produzido, ou seja, a razão de produção é da ordem de 1:6,4 e o teor de sólidos no resíduo é de 4-6% (WU, 1988). Sonego et al. (2012) aponta rendimentos maiores, cuja a proporção é de 7-16 litros para cada litro de etanol.

Como a produção média de etanol de batata-doce é de 130 l.t-1 (SILVEIRA et al, 2008) e que no ano de 2013 foram produzidas no Brasil cerca de 505.350t de batata-doce em uma área plantada total de quase 40 mil hectares (IBGE, 2013) estima-se que se toda essa produção e área fosse reservada apenas para a produção de etanol obteria-se um volume de mais de 65 milhões de litros de etanol como também mais de 420 milhões de litros de resíduo.

2.4.1 - Características químicas do resíduo

Conforme comentou Coelho (2014), para definição da melhor estratégia de destinação dos resíduos é fundamental que se conheça a caracterização física e química dos resíduos agroindustriais. Na maioria das vezes estas informações não estão disponíveis ou são escassas e não permitem que seja explorado todo o potencial de utilização destes rejeitos. A composição bromatológica do resíduo da batata-doce após produção de etanol pode ser observada na Tabela 4 conforme os resultados encontrados pelos pesquisadores Coelho (2014), Rodrigues e Rodrigues (2010), Parente (2010), Santos (2009) e Silveira et al., (2008) com base em matéria seca ou natural.

Tabela 4 – Composição centesimal dos resíduos bromatológicos da batata-doce

Parâmetros	Coelho (2014) ¹	Rodrigues & Rodrigues (2010) ¹	Parente (2010) ²	Santos (2009) ¹	Silveira et al. (2008) ¹	Silveira et al. (2008) ²
pH	6,65	3,24	ND	ND	ND	ND
MS	3,69	4,02	92,75	ND	ND	ND
PB	33,80	17,66	24,64	12,04	14,52	6,11
EE	7,10	1,73	5,25	1,15	2,92	0,97
FB	9,50	ND	9,34	ND	39,04	7,00
MM	11,10	6,76	8,41	9,01	ND	ND
FDN	32,50	36,85	47,41	29,97	ND	ND
FDA	17,60	19,39	ND	17,09	ND	ND
ENN	38,50	37	ND	ND	38,60	22,45

1 teores em % de matéria seca. 2 teores em % de matéria natural. ND = não determinado.

Os parâmetros químicos do resíduo de batata-doce foram avaliados por Coelho (2014) e são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição química do RBD após fermentação etílica

Parâmetros	Teor
Cálcio (g/kg)	7,0
Fósforo (g/kg)	6,0
Nitrogênio (g/kg)	540
Potássio (mg/kg)	176
Magnésio (g/kg)	2,0
Enxofre (g/kg)	5,0
Sódio (mg/kg)	21,0
Flúor (mg/kg)	30,0
Cobre (mg/kg)	35,0
Ferro (mg/kg)	2850,0
Manganês (mg/kg)	430,0
Zinco (mg/kg)	1100,0
Cobalto (mg/kg)	3,0

Fonte: Coelho (2014)

2.4.2 - Possibilidades para a utilização do Resíduo da Fermentação Etílica da Batata-Doce

A partir da composição bromatológica do resíduo da fermentação etílica da Batata-Doce (RBD) estes podem ser classificados em concentrados volumosos (caso o material seja seco, pois o teor de água é muito elevado in natura) que

englobam todos os alimentos de baixo teor energético, principalmente em virtude de seu alto teor em fibra e em "água" (fenos e palhadas); volumosos secos são basicamente os fenos e palhadas e os volumosos úmidos ou aquosos agrupa as forragens verdes (pastos e capineiras) e as silagens. Já os alimentos concentrados são aqueles que contêm um teor de FDN < 25% na MS e podendo ser ricos em energia e proteínas; são considerados concentrados energéticos os alimentos que possuem menos de 18% de fibra bruta e menos de 20% de proteína bruta na matéria seca; os concentrados proteicos são os alimentos que possuem menos de 18% de fibra e mais de 20% de proteína bruta na matéria seca (ANDRIGUETO et al., 1982).

Silveira et al. (2008) sugeriu que a destinação dos resíduos oriundos da batata-doce pós-processada em usinas de etanol seria viável para alimentação animal. Seu uso, contudo, deve ser como complemento alimentar e deve ter características químicas e bromatológicas satisfatórias para esse fim. Os resultados que obtiveram com o estudo do resíduo na base seca foram os teores de matéria seca de 88%, proteína bruta de 14,52% e extrato etéreo de 2,92%.

Parente (2010) apresentou resultados superiores aos informados por Silveira et al. (2008). Os teores obtidos de matéria seca foram de 92,75%, proteína bruta de 24,64% e extrato etéreo de 5,25%. Segundo o autor estes resultados podem ser justificados devido fatores como solo, clima e variabilidade genética dos alimentos (PARENTE, 2010).

Contudo, após intensos experimentos, Siqueira et al. (2015) afirmam que o resíduo obtido da produção de etanol pela fermentação da batata-doce, após armazenamento, não apresenta composição constante e apresenta alto teor de umidade, o que dificulta seu emprego na alimentação animal. Porém, seu uso pode ser empregado para fertirrigação com ressalvas para o controle dos níveis de nitrogênio e potássio.

Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar mas poucos avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático (LYRA et al., 2003) já que, em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e nutrientes, principalmente potássio, quase todas as destilarias brasileiras têm adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar (CUNHA et al., 1981).

Em estudos conduzidos por Marson et al. (2012) e Hackenhaar et al. (2012) constaram respostas significativas com a utilização de resíduo da produção de etanol de batata-doce, como adubação orgânica consorciada à adubação química em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv Marandu e da CONVERT HD 364 cultivadas em solos de cerrado do Estado do Tocantins. Uma vez que a combinação destas duas fontes de minerais promoveu um ganho na produtividade quando levado em consideração o número de perfilhos, altura de plantas, peso de matéria seca e taxa de crescimento dessas gramíneas.

Em função do elevado teor de matéria orgânica e mineral presente na vinhaça ela tem sido usada como alternativa parcial para substituição da adubação mineral em lavouras, principalmente de cana-de-açúcar (CRISPIM, 2000; LEONEL et al., 1999).

Os processos biotecnológicos são outra opção de destinação e vêm sendo amplamente difundidos em vários segmentos industriais. A utilização de resíduos agroindustriais pode servir como matéria-prima para estes processos biotecnológicos. Isto porque a maioria dos materiais de origem orgânica, como subprodutos da agroindústria de baixo valor comercial, porém elevado teor de carboidratos, podem servir de substrato para processos fermentativos (MEINHARDT et al., 2005). Além disso, a biotransformação gera resíduos e produtos biodegradáveis. As transformações microbianas têm o direcionamento do sistema de reação para a obtenção de um

produto definido. A aplicação de resíduos agroindustriais em bioprocessos disponibiliza substratos alternativos e ajuda a resolver problemas relacionados a disposição inadequada de resíduos sólidos (MARÓSTICA JR; PASTORE, 2005).

Vários pesquisadores encontraram soluções para o reaproveitamento de alguns resíduos agroindustriais, dentre eles Lana et al. (2001), para resíduos de cenoura, Silveira et al. (2008) e Rodrigues & Rodrigues (2012), para resíduos de batata-doce, sugeriram a utilização dos resíduos estudados para alimentação animal ou como adubo orgânico, outros como Dalsenter (2000) e Santana (2012) propuseram a utilização como meio de cultivo em processos fermentativos para produção da enzima amiloglucosidade, utilizando os fungos *Aspergillus* spp e *Rhizopus* sp.

2.4.3 - Potencial poluidor do resíduo da fermentação etílica da batata-doce

A vinhaça é caracterizada como uma fonte potencialmente poluente, contudo de alto valor fertilizante. Seu poder poluente ultrapassa o do esgoto doméstico cerca de cem vezes em decorrência da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de elevada temperatura na saída dos destiladores; é considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem às costas brasileiras para procriação (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Além da poluição dos solos e água, advinda da lixiviação dos resíduos, a inutilização desses, pode representar perda de biomassa e de nutriente e também elevar os valores dos produtos finais, uma vez que o tratamento, transporte e a disposição final dos resíduos influencia diretamente o custo do processo (ROSA et al., 2011).

O RBD, assim como a vinhaça mencionada anteriormente, também pode ser caracterizado como tendo um alto poder poluente (cem vezes a do esgoto doméstico), decorrendo de sua alta riqueza de material orgânico e por possuir componentes como: nitrogênio, fósforo e potássio (ABREU JR et al, 2005). Segundo conclusões de Coelho (2014), este resíduo possui alto teor de sólidos suspensos, um potencial poluente muito elevado e um baixo teor de oxigênio dissolvido que não é suficiente para neutralizar o grande teor de matéria orgânica, não devendo assim ser descartado em corpos hídricos sem que haja prévio tratamento.

De acordo com Ferreira-Leitão et al. (2010), o aproveitamento de resíduos agroindustriais e florestais destaca-se na produção de combustíveis renováveis, produtos químicos e de energia, uma vez que sua disponibilidade acaba por solucionar o problema do acúmulo de resíduos e evita a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas que segundo Bertoncini (2014) são provocados pelo excesso de nutrientes e alta carga orgânica presente nesses resíduos.

A batata-doce apresenta um grande potencial de uso para o setor energético e toda sua cadeia de produção gera insumos que podem ser aproveitados para diversificados fins, podendo agregar valor aos seus produtos derivados e diminuir custos de produção.

3 - Considerações Finais

O resíduo da produção de etanol de batata-doce é classificado como resíduo industrial sólido, não inerte e biodegradável e dada a sua composição química precisa ser tratado antes de ser lançado em corpos hídricos ou utilizado para outros fins.

Apresenta potencial para ser utilizado na alimentação animal desde de que seja submetido a processo de secagem ou utilizado em fertirrigação, na condição in natura.

A composição química do resíduo da produção de etanol de batata-doce desidratado pode ser classificado e utilizado como alimento concentrado proteico sendo rico em macro e micro minerais e;

Sua utilização na alimentação animal deve estar condicionada a fatores como teor de umidade, custo, disponibilidade, entre outros.

4 - Referências Bibliográficas

ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. *Tópicos Especiais em Ciência do Solo, Viçosa*, v.4, p.391-470, 2005.

ANDRIGUETTO, J. (vários autores). *Nutrição animal*. São Paulo: Nobel, 1982. v.1, 395p.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 16 ed. Arlington, 1995.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P.; GALLO, J. R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78).

BERTONCINI, E. I. Tratamento, uso e impacto de resíduos urbanos e agroindustriais na agricultura. *Pesquisa & Tecnologia*, vol. 11, n. 1, Jan-Jun 2014, APTA Regional. São Paulo, p. 1 - 6, 30 abr. 2014.

BEVILAQUA, D. B. *Produção ácido levulínico, por meio de hidrólise ácida da casca de arroz*. 2010. 87 p. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2010.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. ed. 2, 305 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357/2005. "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências". Brasília: CONAMA, 2005.

BRASIL. Lei nº 6.938/1981. "Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências". Brasília. 2005.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. ed. 2, 305 p.

BOA NOVA, A. C. *Energia e as Classes Sociais no Brasil*. São Paulo: Loyola. 1985.

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

CAMARGO, A. P.; FREIRE, E. S. *Adubação da batata-doce em São Paulo - Parte IV - Experiências comparando formas de N, P e*

K. Bragantia, Campinas, v. 21, n. 49. p. 849-855, outubro de 1962.

CASTRO, L. A. S. de.; EMYGDIO, B. M. *Batata-doce para produção de biocombustível*. Portal do agronegócio. EMBRAPA Clima temperado, Pelotas, RS. 2009. p. 2.

CEREDA, M. P. *Hidrólise enzimática de amido de mandioca para elaboração de álcool*. 2005. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/revista/revista13/ceteagro.php>>. Acesso em: 12 jul 2015.

CHAVES, L.H.G.; PEREIRA, H.H.G. *Nutrição e adubação de tubérculos*. Campinas: Fundação Cargill, 1995. 97p.

COELHO, C. B. *Caracterização química e bromatológica do resíduo da batata-doce [ipomoea batatas (Lam)] proveniente da fermentação etílica para produção de etanol*. Monografia (Engenharia Ambiental), UFT: Palmas, 2014.

CORTEZ, L. A. B. (vários autores). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, 2010, 954 p.

CRISPIM, J. C. *Manual da produção de aguardente de qualidade*. Guaíba, Agropecuária. 2000, 336p.

DALSENTER, F. D. H. *Contribuição do estudo de aplicação da proposta Zeri para um resíduo agroindustrial utilizando processo biotecnológico*. Dissertação (Mestrado) Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, 2000.

DEMAJORIVIC, J. *Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades*. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v.35, n.3, p 88-93, 1995.

EPM. Escola Paulista de Medicina. *Tabela de Composição Química dos Alimentos: Batata doce, crua*. Unifesp: São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.dis.epm.br/servicos/nutri/public/Alimento>>. Acesso em: 5 set 2015.

FABRI, E. G. *Diversidade genética entre acessos de batata-doce (Ipomoea batatas L.Lam.) avaliada através de marcadores microsatélites e descritores morfoagronômicos*. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2009, 172 p.

FAQUIN, V. *Diagnose do estado nutricional das plantas*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. *FAOSTAT, estadísticas de producción de alimentos*. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 15 jun 2015.

FERREIRA-LEITAO, V. (vários autores). *Biomass Residues in Brazil: availability and potential uses*. *Waste Biomass Valor*, v. 1, p. 65-76, 2010.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. *Vinhaça de cana-de-açúcar*. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

GIORDANO, S.R. *Gestão ambiental no sistema agroindustrial*. In: ZYLBERSZTAJN, D.; NEVES, M.F. (Orgs.). *Economia e gestão de negócios agroalimentares: indústria de alimentos, indústria de insumos, produção agropecuária, distribuição*. São Paulo: Pioneira, 2000. p.255-281.

- GONÇALVES NETO AC; MALUF WR; GOMES LAA; GONÇALVES RJS; SILVA VF; LASMAR A. 2011. Aptidões de genótipos de batata doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46: 1513-1520.
- HACKENHAAR, C.; SIQUEIRA, F. T.; SIQUEIRA, G. B.; HACKENHAAR, N. M.; SANTOS, W. F.; PELUZIO, J. M. Resíduo do biocombustível de Batata- doce (ipomoea batatas (Lam.)) como fonte de adubo orgânico na formação de pastagem. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2012.
- HAND, T. E.; COCKERHAM, K. L. *The Sweet Potato: A Handbook for the Practical Grower*. THE MACMILLAN COMPANY. New York, 1921.
- HUAMAM, Z. Systematic botany na morphology of the sweetpotato plant. *Technical Informatin bulletin* 25. Lima: International Potato Center, 1992.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes - PAM. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2013_v40_br.pdf>. Acesso em: 01 de jun 2015.
- IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas: métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. Brasília, DF, 2005. 1017p.
- ISLAM, S. Sweetpotato (Ipomoea batatas L.) Leaf: Its potential effect on human health and nutrition. *Journal of Food Science*. Vol. 4: p. 2-27, 2006.
- JUDD, W.S., CAMPBELL, C.S., KELLOG, E.A. & STEVENS, P.F. *Plant Systematics: A phylogenetic approach*. Sunderland, Sinauer Associates, 462p. 1999.
- KAMM, B.; GRUBER, PR; KAMM, M. *Biorefineries – Industrial Processes and Products*. Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
- LANA, M. M. VIEIRA, J. V. SILVA, J. B. C. LIMA, D. B. Cenourite e catelinho: mini cenouras brasileiras. *Horticultura Brasileira*, v. 19, n. 3, p. 376-379, 2001.
- LEAL, M. R. L. V. et al. Outras matérias-primas para a produção de etanol. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa (Org.). *Bioetanol de Cana-de-Açúcar: P&D para produtividade e Sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, v. 01, p. 519-539, 2010.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; ROAU, X. Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte fibras dietéticas. *Ciência e tecnologia de alimentos*, v. 19, n. 2, p. 241-245, mai. 1999.
- LIMA, U. A. de; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. de. Produção de etanol. *Biotechnology Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos (vol.3)*. São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher, 2001. p. 1-43.
- LUENGO, R. de F. A.; PARMAGNANI, R. M.; PARENTE, M. R.; LIMA, M. F. B. F. Tabela de composição nutricional de hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011.
- LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.525-532, 2003.
- MACEDO, L. C. H de. *Álcool etílico: da cachaça ao cereal*. São Paulo: Ícone, 1993. 157 p.
- MAGALHÃES, K. A. B. Análise da sustentabilidade da cadeia produtiva de etanol de batata doce no município de Palmas-TO. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Meio Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins. Palmas, TO.
- MALAVOLTA, E. *Manual de adubação e calagem das principais culturas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987, 496 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARÓSTICA JR, M. R. PASTORE, G. M. Biotransformação de resíduos agroindustriais em compostos funcionais e de aroma. In: *Simpósio Nacional de Bioprocessos*, 15, Recife, PB, 2005.
- MARSON, A. C.; SILQUEIRA, F. T.; SIQUEIRA, G. B. Utilização do resíduo da Batata-doce (ipomoea batatas (lam.)) como fonte de adubação orgânica em brachiaria brizantha cv marandú. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2012.
- MASIERO, S. S. Microssinas de etanol de batata-doce: viabilidade técnica e econômica. Dissertação (Mestrado em Engenharia). UFRS: Porto Alegre, 2012. 141 p.
- MEINHARDT, S. MEDEIROS, F. BURKERT, C. A. V. KALIL, S. J. Purificação de amiloglucosidase em sistema aquoso bifásico. In: *Simpósio Nacional de Bioprocessos*, 15, Recife, PE, 2005.
- MENEZES, T. J. B. *Etanol o combustível do Brasil*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1980. 229 p.
- MIRANDA, J.E.C. de; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. Cultivo de batata-doce (Ipomea batatas (L.) Lam). Brasília, DF, EMBRAPA-CNPB, 1987. p. 7. (EMBRAPA-CNPB. Instruções Técnicas, 7).
- MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, A. O. Batata-doce (Ipomoea batatas (Lam.)). 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA/CNPB, 1989. 19 p.
- MOMENTÉ, V. V. (vários autores). Desenvolvimento de cultivares de batata-doce no estado do Tocantins, visando a produção de álcool, como fonte alternativa de energia para as condições tropicais. 2004. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 2, p. 340-342.
- MORETTI, C. M.; MACHADO, C. M. M. Aproveitamento de resíduos sólidos do processamento mínimo de frutas e hortaliças. 4, 2006, São Pedro. In: *ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS*. Palestras, Resumos, Fluxogramas e Oficinas... Piracicaba: USP/ESALQ, 2006. p. 25 32.
- NELSON, S.C., ELEVITCH C.R. Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Sweetpotato (Ipomoea batatas). In: ELEVITCH, C.R. (ed.). *Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry*. Permanent Agriculture Resources (PAR). Honolulu, Hawaii, 2011. Disponível em: <<http://agroforestry.net/scps>>. Acesso em: 19 jul 2015.
- NOVA CANA. Processos de fabricação do etanol. Disponível em: <<http://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>>. Acesso em: 15 ago 2015.

- PAVLAK, M. C. M.; ABREU-LIMA, T. L.; CARREIRO, S. C.; PAULILLO, S. C. L. Estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*. *Quím. Nova* [online]. 2011, vol.34, n.1, p. 82-86.
- PARENTE, P. P. Características nutricionais e utilização do resíduo de batata-doce em dietas de frangos de crescimento lento. Dissertação (Mestre e Ciência Animal Tropical), Universidade Federal do Tocantins. UFT: Araguaína, TO, 2010. 58 p.
- QUEIROZ, L. Aproveitamento de resíduos reduz perdas da agroindústria. 2009. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=971>> Acesso em: 18 jul 2015.
- SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Cultura da batata doce. In: *Embrapa Hortaliças: sistema de produção*. Embrapa, 2006.
- RODRIGUES, L. G. S. M., RODRIGUES, F. M. Composição química-bromatológica do resíduo debiocombustível de batata-doce (*Ipomoea batatas* (Lam)). *Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 14. Goiânia, 2012.
- ROSA, M. F. (vários autores). Valorização de resíduos da agroindústria. In: *Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – SIGERA*, 2., 2011, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Embrapa, 2011.
- SÁ, L. R. V. de; CAMMAROTA, M. C.; FEIRREIRA-LEITÃO, V. S. Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia – aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros. *Quim. Nova*, Vol. 37, No. 5, 857-867, 2014.
- SANTANA, R. S. M. Produção de enzimas amilolíticas através da fermentação em estado sólido. Itapetinga-BA: UESB, 2012. 73p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Alimentos – Ciência dos Alimentos).
- SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Cultura da batata-doce. *Sistemas de Produção*, 6. EMBRAPA HORTALIÇAS. Versão eletrônica. Dez. 2004.
- SILVA, A. Batata-doce poderá ser opção para produção de etanol. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2012/02/batata-doce-podera-ser-opcao-para-producao-de-etanol-diz-pesquisador.html>>. Acesso em: 11 set 2015.
- SILVA, F. C. (org.). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.
- SILVEIRA, M. A.; DIAS, L. E. D.; ALVIM, T. C.; TAVARES, I. B.; SANTANA, W. R.; SOUZA, R. S. A Cultura da Batata-doce como Fonte de Matéria Prima para Etanol. *Boletim técnico. LASPER – UFT. Palmas*, 2008, 64 p.
- SILVEIRA, M. A.; SOUZA, F. R.; ALVIM, T. C.; DIAS, L. E. D.; SANTANA, W. R.; VITAL, M. de K. G. S.; GOUVÊA, G. R. dos S. R.; COSTA, D. M. da. A Cultura da batata-doce como fonte de matéria prima para produção de etanol. *Boletim técnico. LASPER – UFT. Palmas*, 2014, 48 p.
- SILVEIRA, M.A. Álcool Combustível - Série Indústria em Perspectiva. *Batata-doce: Uma Nova Alternativa para a Produção de Etanol*. v. 1. p. 109-122. Brasília 2008.
- SILVEIRA, C. R. O resíduo da produção de etanol de batata-doce (RBD) como fonte de adubação potássica orgânica. 2014. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação de Eng. Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2014.
- SIMÃO-BIANCHINI, R. *Ipomoea L. (Convolvulaceae) no Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, São Paulo, Universidade de São Paulo. 476p. 1998.
- SONEGO, S. J. L. Efeitos da Aplicação do Resíduo da Produção de Etanol de Batata Sobre Diferentes Culturas. Santa Maria 2012, 69 p. Dissertação (Mestrado / Engenharia de Processos), Universidade Federal de (UFSM, RS).
- SIQUEIRA, F. L. T. SIQUEIRA, G. B. BANDEIRA, C. RODRIGUES, W. B. NEIVA, I. Identificação do potencial de uso e características poluentes do resíduo da produção de bioetanol de batata doce. In: *IV Simpósio Internacional de Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais*, Rio de Janeiro, 2015.
- SOUZA, A.B. Avaliação de cultivares de batata-doce quanto atributos agronômicos desejáveis. *Ciência Agrotécnica*. Lavras, v.24, n.4, p.841-845, 2000.
- TÁVORA, F.L. Deve o Brasil persistir no fomento aos biocombustíveis mesmo com a descoberta da volumosa reserva de petróleo do Pré-sal? Publicado em 21/02/2011. Disponível em: <<http://www.brasil-economia-governo.org.br/2011/02/21/deve-o-brasil-persistir-no-fomento-aos-biocombustiveis/>>. Acesso em: 10 jul 2015.
- TIMOFIECSYK, F. R. PAWLOWSKY, U. Minimização de Resíduos na Indústria de Alimentos: Revisão. *B. CEPPA*, 18 (2), 2000. pp. 221-236.
- UNICA. A indústria da cana-de-açúcar. 2008. 34 p. Disponível em: <www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=25497159>. Acesso em 19 ago 2015.
- WOOLFE, J. A. *Sweet Potato: An Untapped Food Resource*. Cambridge University Press, Cambridge, UK., 1992, 643 p.
- WU, Y. V. Characterization of sweet potato stillage and recovery of stillage solubles by ultrafiltration and reverse osmosis. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, v.36, n.2, p.252-256, 1988.