



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**MICHELLE CARVALHO DE SOUZA**

**ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM E ANÁLISE DA FARINHA DE  
YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

Alegre- ES  
Novembro- 2013

MICHELLE CARVALHO DE SOUZA

**ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM E ANÁLISE DA FARINHA DE  
YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Sérgio Henriques Saraiva  
Co-orientador: Luciano José Quintão Teixeira

Alegre-ES  
Novembro- 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

S719e Souza, Michelle Carvalho de, 1986-  
Estudo da cinética de secagem e análise da farinha de yacon  
(smallanthus sonchifolius) / Michelle Carvalho de Souza. – 2013.  
69 f. : il.

Orientador: Sérgio Henriques Saraiva.

Coorientadores: Luciano José Quintão Teixeira.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Tecnologia de alimentos. 2. Secagem. 3. Modelo de Page. 4. Yacon.  
I. Saraiva, Sérgio Henriques. II. Teixeira, Luciano José Quintão. III.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV.  
Título.

CDU: 664

---

**ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM E ANÁLISE DA FARINHA DE  
YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

**Michelle Carvalho de Souza**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em:

---

Prof. Dra. Kátia Yuri Fausta Kawase  
Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia Fluminense

---

Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Co-orientador)

---

Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Orientador)

A Deus, pelo dom da vida. Aos meus pais, por todo carinho. A minha avó Aline (*in memoriam*), por me tornar quem sou. Ao meu marido, por seu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me permitir alcançar mais uma vitória em minha vida.

Ao Programa de Ciência e Tecnologia de Alimentos do CCA/UFES, pela oportunidade.

Ao professor Sérgio Henriques Saraiva por toda paciência e orientação ao longo desse trabalho. Ao professor Luciano Teixeira pela co-orientação, e a todos os demais professores do PCTA que de alguma forma contribuíram na produção desse trabalho.

As minhas amigas que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado, principalmente Flávia Fracalossi Baioco e Schalana Oliveira dos Reis. Ao meu marido que sempre me incentivou, a minha mãe que sempre acreditou em mim.

A Amanda Inácio, técnica do laboratório de Química de Alimentos do CCA/UFES, por todas as vezes que me auxiliou com paciência e carinho.

A Capes pelo auxílio financeiro.

Muito obrigada!

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Umidade do yacon <i>in natura</i> .....	5
Tabela 2- Caracterização físico-química do yacon <i>in natura</i> .....	5
Tabela 3- Composição relativa percentual de sacarídeos em raízes de yacon .....	6
Tabela 4- Resumo das aplicações dos frutooligossacarídeos nas indústrias de alimentos.....	19
Tabela 5- Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação e estatística $\chi^2$ para os modelos de Page, Lewis e de Henderson e Pabis (H&P) em diferentes temperaturas do ar de secagem.....	28
Tabela 6- Tempo de secagem estimado pela Eq.7 para diferentes temperaturas de secagem.....	31
Tabela 7- Parâmetros ajustados para o modelo generalizado.....	34
Tabela 8- Difusividade efetiva do yacon e coeficiente de determinação em diferentes valores de temperatura de secagem.....	36
TABELA 9- Parâmetros do modelo de Arrhenius para a secagem do yacon com temperatura de secagem variando de 40°C a 80°C.....	37
Tabela 10- Umidade e sólidos totais do yacon <i>in natura</i> e da farinha de yacon.....	39
Tabela 11- Sólidos solúveis do yacon <i>in natura</i> e farinhas.....	41
Tabela 12- Quantidade média (%) de fibra bruta encontrada no yacon.....	41
Tabela 13- Valores de açúcar redutor e não redutor do yacon <i>in natura</i> e farinhas.....	43
Tabela 14- Valores da escala CIEL*a*b* e das coordenadas c* e h* para as farinhas de yacon.....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura dos principais frutooligossacarídeos.....	8
Figura 02- Curva típica de secagem.....	14
Figura 3- Tubérculo de yacon <i>in natura</i> .....	22
Figura 4- Tubérculo de yacon fatiado.....	22
Figura 5- Fluxograma para obtenção de farinha de yacon.....	23
Figura 6- Curvas de secagem do yacon em diferentes temperaturas do ar de secagem. A: 40°C; B: 50°C; C: 60°C; D: 70°C; E: 80°C.....	30
Figura 7- Valores preditos pelo modelo generalizado versus valores experimentais da razão de umidade.....	35
Figura 8- Yacon desidratado.....	40
Figura 9- Farinha de yacon.....	40
Figura 10- Variações da escala CIEL*a*b* e das coordenadas c* e h* durante a secagem.....	47

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1-Coordenada $h^*$ da Escala CIELAB .....	24
Equação 2- Coordenada $c^*$ da Escala CIELAB.....	24
Equação 3- Modelo de Page.....	24
Equação 4- Modelo de Lewis.....	25
Equação 5- Modelo de Henderson e Pabis.....	25
Equação 6- Qui-quadrado reduzido.....	25
Equação 7- Modelo de difusão.....	27
Equação 8- Modelo de Arrhenius.....	27
Equação 9- Razão de umidade.....	28
Equação 10- Tempo de secagem.....	31
Equação 11- Relação funcional para o parâmetro $n$ .....	33
Equação 12- Relação funcional para o parâmetro $k$ .....	33
Equação 13- Modelo generalizado para secagem do yacon.....	34

## SUMÁRIO

RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xii
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO YACON.....	3
2.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO YACON.....	4
2.3. BENEFÍCIOS DO YACON À SAÚDE .....	7
2.4. ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO .....	9
2.5. PROCESSAMENTO DO YACON .....	10
2.6. SECAGEM.....	12
2.7. TENDÊNCIAS DO YACON NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.....	16
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
3.1. OBJETIVO GERAL.....	20
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
4.1. METODOLOGIA .....	21
4.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS .....	23
4.3. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A CINÉTICA DE SECAGEM.....	25
4.4. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE SECAGEM SOBRE O TEOR DE UMIDADE DO YACON .....	26
4.5. DIFUSIVIDADE EFETIVA DO YACON.....	26
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
5.1. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM SOBRE A CINÉTICA DE SECAGEM .....	28
5.2. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE SECAGEM SOBRE O TEOR DE UMIDADE DO YACON .....	33
5.3. AVALIAÇÃO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA DO YACON.....	35
5.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	38
<b>5.4.1. Análise de umidade do yacon <i>in natura</i> e suas farinhas.....</b>	<b>38</b>
<b>5.4.2 Sólidos solúveis.....</b>	<b>40</b>
<b>5.4.3 Análise de fibra bruta .....</b>	<b>41</b>
<b>5.4.4 Açúcares.....</b>	<b>42</b>
5.4.4.1. Açúcar redutor .....	43
5.4.4.2. Açúcar não redutor .....	43
<b>5.4.5. Análise de cor das farinhas .....</b>	<b>44</b>

<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>

## RESUMO

SOUZA, Michelle Carvalho. **Estudo da cinética de secagem e análise da farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre- ES. Orientador: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva. Co-orientador: Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira.

O yacon é um tubérculo de origem andina, e seu consumo tem se disseminado pelos demais países devido as suas características de alimento funcional. Os benefícios advindos do yacon são devido à presença dos FOS (frutooligossacarídeos), que são carboidratos não digeríveis pelo organismo humano, que atuam como fibra e são fermentados pelas bactérias intestinais, produzindo compostos benéficos à saúde. Devido ao alto teor de água, média de 90%, o yacon é suscetível a uma rápida degradação e a uma vida útil de aproximadamente sete dias. A secagem é uma alternativa para aumentar o período de consumo do yacon, além disso, a farinha de yacon pode ser utilizada como ingrediente em diversos produtos industrializados, entretanto, não há uma padronização desse processo para a produção da farinha de yacon em larga escala, o que dificulta a inserção desse produto na agroindústria. Para o estudo do processo de secagem do yacon e obtenção de farinhas que preservassem as características mais próximas as dos produtos *in natura*, foram utilizadas cinco temperaturas de secagem (40, 50, 60, 70 e 80° C). O modelo matemático que melhor se ajustou ao experimento foi o modelo de Page, e a partir disso, pode-se elaborar um modelo matemático generalizado que representasse a secagem do yacon. Estimou-se a difusividade efetiva do yacon nas diferentes temperaturas testadas através do modelo de difusão, além disso, a influência da temperatura de secagem sobre a difusividade efetiva foi avaliada ajustando-se o modelo de Arrhenius. A energia de ativação para a difusão líquida no processo de secagem do yacon foi de 22,088 kJ/mol. O yacon atingiu sua umidade de equilíbrio a 60° C próximo a 400 minutos, o que também foi observado nas temperaturas mais altas. O teor de fibra bruta das farinhas não variou com o aumento da temperatura de secagem, entretanto, o maior valor de açúcar redutor foi obtido a 80° C, enquanto que a 50° C encontrou-se o maior valor de açúcar não redutor. Isso pode ser devido a hidrólise dos FOS, consequência do efeito térmico. A farinha elaborada a 60° C possui baixa umidade, além de preservar suas características intrínsecas mais próximas as do produto *in natura*.

**Palavras-chave:** modelo de Page, modelo de difusão, difusividade efetiva, energia de ativação, secagem, yacon.

## ABSTRACT

SOUZA, Michelle Carvalho. **Study of the kinetics of drying and analysis yacon flour (*Smallanthus sonchifolius*)**. In 2013. Dissertation (MSc in Food Science and Technology) - Federal University of Espírito Santo, Alegre-ES.

SciVerse. Dr. Sérgio Henriques Saraiva. Co-supervisor: Prof. Dr. Luciano José Teixeira Quintão.

The yacon tuber is an Andean origin, and its consumption has been disseminated by other countries due to its characteristics of functional food. The benefits of yacon are due to the presence of FOS (fructo-oligosaccharides), which are non-digestible carbohydrates by the human body, which act as fiber and are fermented by intestinal bacteria, producing compounds beneficial to health. Due to the high water content, 90% average, the yacon is susceptible to rapid degradation and a lifespan of about seven days. The drying is an alternative to increasing the consumption period of yacon, moreover, yacon flour can be used as an ingredient in various manufactured products. To study the drying of yacon, and getting flour which preserved the characteristics as close as possible to the fresh products, this study tested five drying temperatures (40, 50, 60, 70 and 80 ° C). The mathematical model that best fit the experiment was the Page model, and from this, one can develop a generalized mathematical model to represent the drying of yacon. We estimated the effective diffusivity of yacon tested at different temperatures by diffusion model, moreover, the influence of the drying temperature on the effective diffusivity was measured by adjusting the Arrhenius model. The activation energy for liquid diffusion in the drying process of yacon was 22.088 kJ / mol. At 60 ° C the yacon reached its equilibrium moisture content close to 400 minutes, which was also observed at higher temperatures. The crude fiber content of the flour did not vary with increasing drying temperature, however, the largest amount of reducing sugar was obtained at 80 ° C, while at 50 ° C was found the highest amount of non-reducing sugar. This may be due to hydrolysis of FOS result of the thermal effect. Thus, the flour produced at 60 ° C has low humidity, while preserving its merits closer the product fresh.

**Keywords:** Page model, diffusion model, effective diffusivity, activation energy, drying, yacon.

## 1. INTRODUÇÃO

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é um tubérculo pertencente à família da *Asteraceae*, que apresenta um sistema de raiz composto de quatro a 20 tubérculos. Ele é consumido como um fruto de sabor doce e conhecido por suas propriedades medicinais. O yacon pode ser consumido *in natura* (cru e em saladas) ou na forma industrializada como suco, *chips* desidratados, farinha, xaropes, entre outros (GRAU; REA, 1997; AYBAR; SÁNCHEZ; GRAU, 2001).

Entre os componentes bioativos, o yacon apresenta cerca de 40% a 70% de frutooligossacarídeos (FOS) em base seca (SANTANA; CARDOSO, 2008). Os FOS pertencem à classe dos frutanos e são carboidratos de origem vegetal não digeríveis pelo organismo humano, por isso, são classificados como compostos bioativos. Os FOS atuam no organismo como prebióticos, ou seja, afetam benéficamente o hospedeiro pelo estímulo seletivo do crescimento de bactérias no cólon (SALES et al., 2010). Além disso, como os FOS não são metabolizados pelo organismo, o seu consumo não eleva o nível de glicose no sangue, e sua contribuição calórica é muito reduzida. Sendo assim, o yacon é considerado um excelente alimento para indivíduos com diabetes ou excesso de peso (MANRIQUE; HERMANN, 2003).

O yacon *in natura* é composto em sua maior parte por água, e sua umidade varia de 69,5% a 92,7%, o que contribui para sua rápida deterioração, que advém da ação de enzimas polifenoloxidasas, responsáveis por catalisar reações de escurecimento (VALENTOVÁ, 2003). Além disso, de acordo com Michels (2005), o valor da atividade de água do yacon *in natura* é de 0,991. Desse modo, esse vegetal oferece condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos patógenos, principalmente por bactérias, que podem acarretar em alterações das características sensoriais do produto, tais como cor, odor, textura e aparência durante o período de vida útil.

Os produtos processados a base de yacon ganham espaço no mercado, visto que, possuem maior vida de prateleira. Entre esses produtos, um dos principais é a farinha de yacon, pois tem se mostrado bastante promissora, não

só por aumentar a vida útil desse vegetal, mas também pela possibilidade de ser utilizada como ingrediente funcional na formulação de diversos alimentos processados como bolos, biscoitos, doces, pães e outros (RODRIGUES et. al, 2011).

Os prebióticos como os frutanos, inulina e frutooligossacarídeos estão sendo utilizados, na sua forma isolada ou por meio de alimentos fonte, como ingredientes alimentícios, por razões nutricionais e tecnológicas. Diante destas constatações, cresce o interesse pelo desenvolvimento de “novos produtos com propriedades de alegações funcionais”, que atendam às exigências dos consumidores, ultimamente bastante exigentes quanto aos padrões de qualidade dos alimentos e conscientes da relação existente entre alimentação e saúde (ROLIM et al., 2010).

O yacon vem despertando interesse científico e do consumidor, em geral pelos efeitos benéficos para a saúde humana, devido à presença de FOS e outros componentes bioativos (BORGES, et al., 2012). Dessa forma, aumentam os estudo acerca do yacon e seus derivados, a fim de aprimorar o conhecimento sobre esse vegetal para um melhor aproveitamento dos benefícios deste tubérculo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO YACON

O yacon, cujo nome científico é *Smallanthus sonchifolius*, foi inicialmente classificado como pertencente ao gênero *Polymnia*, posteriormente, estabeleceu-se que esse tubérculo pertencia ao gênero *Smallanthus*, considerando que há diferenças importantes separando os gêneros (KOTOVICZ, 2011). Pertencente à família Asteraceae, esse tubérculo originário dos Andes têm aparência semelhante à batata doce, entretanto, possui sabor mais adocicado e textura mais crocante. É uma espécie extremamente adaptável quanto ao clima, altitude e tipo de solo, sendo que sua alta resistência ao frio e à seca está relacionada à grande quantidade de carboidratos de reserva nos órgãos subterrâneos. Suas raízes podem atingir até 40 cm de comprimento e pesar até dois quilos (LACHMAN, 2003; VILHENA; CAMARA, KAKIHARA, 2000).

É uma planta perene, de propagação vegetativa, dotada de um sistema radicular que origina caules aéreos pilosos esverdeados que geralmente atingem uma altura de 2 a 2,5 m. O sistema subterrâneo apresenta três partes: os rizomas ou rizóforos, as raízes tuberosas e as raízes delgadas. Os rizomas, ricos em fibras duras e não-digeríveis, contêm gemas que dão origem a novas plantas. As raízes tuberosas são comestíveis e contêm mais fibras solúveis, enquanto as raízes delgadas desempenham funções de absorção e fixação (QUINTEROS, 2000).

O yacon é cultivado em regiões próximas a florestas úmidas, em microambientes temperados e chuvosos. Dependendo do índice pluviométrico, completa seu ciclo produtivo em 7 meses, que pode ser mais longo em altitudes mais elevadas. No Brasil, a safra vai de março a setembro, mas é possível encontrar uma pequena oferta em outros meses (QUINTEROS, 2000).

A maior parte do yacon é cultivada nos Andes em lotes familiares, que o utilizam para o consumo próprio ou para comercialização em feiras rurais. O yacon representa uma importante alternativa nutricional e econômica para a agricultura de subsistência e ocupa o lugar de frutas e vegetais na dieta de

pequenas comunidades. Esta raiz é uma fonte alimentar aquosa, sendo assim, muito utilizada por parte dos camponeses que trabalham nas lavouras para que possam se refrescar. Entretanto, por ser um alimento rico em água e de baixo valor calórico, o seu uso foi negligenciado por muitos anos, uma vez que não representava um alimento que fornecesse energia suficiente para o trabalho árduo realizado nas frias regiões Andinas. Dessa forma, o cultivo de yacon não se destacou nos sistemas agrícolas sul-americanos, em que se priorizou o cultivo da batata e do milho, culturas essenciais para a sobrevivência da população (GRAU; REA, 1997).

Nas últimas três décadas o cultivo do yacon tem se estendido para outros continentes, e na atualidade o yacon já é cultivado em muitos países fora dos Andes, como Paraguai, Estados Unidos, China, Coreia e Taiwan. No Brasil, o consumo desse tubérculo se popularizou recentemente. A espécie foi introduzida no país por volta de 1989, na região de Capão Bonito (SP), por imigrantes japoneses. As folhas e as raízes dessa planta eram utilizadas nos tratamentos contra diabetes, por esse motivo, essa raiz ficou popularmente conhecida como batata *diet* (MOSCATTO et al., 2004; LACHMAN, 2003).

O cultivo da raiz tem proporcionado vantagens para os produtores, pois o yacon possui características que têm sido vinculadas a inúmeros benefícios para a população em geral, representando um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico (SANTANA; CARDOSO, 2008). Além disso, análises químicas do yacon também revelaram que as suas folhas contêm monoterpenos, sesquiterpenos e diterpenos, que são responsáveis pela resistência a pragas e pela atividade antimicrobiana desta planta, o que facilita o cultivo desse vegetal (KAKUTA, et al., 1992).

## 2.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO YACON

Os principais constituintes do yacon são a água e o carboidrato, o qual é armazenado principalmente sob a forma de FOS, entre outros açúcares livres (SANTANA; CARDOSO, 2008). Devido ao alto conteúdo de água, o valor energético da raiz é baixo, além disso, um grama de FOS equivale a uma

caloria, ou seja, a quarta parte do valor calórico do amido ou da sacarose (MANRIQUE; HERMANN, 2003; LACHMAN et al., 2004).

O teor de umidade do yacon é variável, sendo influenciado por condições de cultivo e armazenamento. Desse modo, são encontrados na literatura diferentes valores de umidade para o yacon. A Tabela 1 mostra alguns resultados de umidade do yacon *in natura* encontrados na literatura.

Tabela 1. Umidade do yacon *in natura*

Valores de umidade do yacon <i>in natura</i> (%)				
Lachman et al. (2004)	Michels (2005)	Kanashiro (2008)	Patri (2009)	Kotovicz (2011)
83 a 90	89,8	86 a 90	80,7	88,68

Fonte: O autor (2011).

Os FOS são oligossacarídeos de frutose, unidos por ligações  $\beta$  (2  $\rightarrow$ 1) ou  $\beta$  (2 $\rightarrow$ 6), terminado com uma molécula de glicose ligada à frutose. Quando ingerido, os FOS atravessam o estômago e o intestino delgado sem serem degradados e absorvidos, assim, chegam de forma intacta ao cólon, onde são fermentados. Como consequência dessa fermentação ocorre a proliferação de bifidobactérias, que são capazes de melhorar o equilíbrio intestinal (ROBERFROID et al, 2010).

Normalmente a porcentagem dos açúcares das raízes varia de forma significativa em função de fatores como cultivar, a época de cultivo e colheita, o clima e a temperatura no pós-colheita (SANTANA; CARDOSO, 2008). Entretanto, o percentual de FOS encontrado na batata yacon situa-se em torno de 40 e 70% dos carboidratos, os quais são também chamados de açúcares não convencionais. Os FOS possuem grande impacto na indústria do açúcar em razão das suas excelentes características funcionais em alimentos, além de seus aspectos fisiológicos e físicos (SPIEGEL et al., 1994). O FOS são encontrados naturalmente em muitas plantas comestíveis, tais como cebola e alho, mas nunca em concentrações tão altas como nas raízes tuberosas de yacon (HERMANN; FREIRE; PAZOS, 1999).

A Tabela 2 apresenta a composição do yacon.

Tabela 2. Caracterização físico-química do yacon *in natura*

Características	VALORES Média ( $\pm$ DP)
-----------------	------------------------------

Umidade e substâncias voláteis (%)	88,68 ( $\pm 1,02$ )
Resíduo mineral fixo (%)	0,34 ( $\pm 0,001$ )
Gordura total (%)	0,07 ( $\pm 0,04$ )
Proteínas (%)	0,26 ( $\pm 0,12$ )
Sólidos solúveis totais ( $^{\circ}$ Brix)	12,16 ( $\pm 2,38$ )
pH	6,47 ( $\pm 0,13$ )
Açúcares redutores em glicose (%)	2,86 ( $\pm 0,06$ )
Açúcares não redutores em sacarose (%)	6,18 ( $\pm 0,06$ )
Fibra alimentar (g/100g)	6,88
Cálcio (mg/100g)	36,17 ( $\pm 1,55$ )
Magnésio (mg/100g)	0,29 ( $\pm 0,02$ )
Fósforo (mg/100g)	14,63 ( $\pm 1,75$ )
Sódio (mg/100g)	8,80 ( $\pm 0,08$ )
Ferro (mg/100g)	13,84 ( $\pm 0,95$ )
Zinco (mg/100g)	0,36 ( $\pm 0,01$ )
Potássio (mg/ 100g)	n.d.

Nota: DP = Desvio Padrão.

n.d.= não determinado.

Fonte: KOTOVICZ (2011).

As raízes tuberosas de yacon contêm entre 10% e 14% de matéria seca, fração composta por aproximadamente 90% de carboidratos (digeríveis e não digeríveis), dentre os quais, frutose e glicose, sacarose e FOS, além de traços de amido e inulina (KANASHIRO; FERRARO; POLTRONIERE, 2008; VASCONCELOS et al., 2010).

A composição físico-química média de yacon (base seca) por tipo de carboidratos totais varia de 40 a 70% de FOS, 5 a 15% de sacarose, 5 a 15% de frutose e menos de 5% de glicose (MANRIQUE et al., 2005; MADRIGAL; SANGRONIS, 2007). Entretanto, a concentração destes açúcares pode variar conforme estágio de maturação, colheita, tempo e temperatura pós-colheita e condições de processamento (RODRIGUES et al., 2011).

A Tabela 3 apresenta os principais açúcares presentes na raiz de yacon, com destaque na concentração de FOS.

Tabela 3. Composição relativa percentual de sacarídeos em raízes de yacon

Açúcares	Composição em carboidratos (%)
Frutooligosacarídeos	46,1
Sacarose	9,7
Glicose	14,6
Frutose	29,6

Fonte: PEREIRA (2009).

O mineral mais abundante no yacon é o potássio (230 mg. 100 g<sup>-1</sup> de matéria fresca comestível ou de 1 a 2% de peso seco), presente em quantidades superiores às das de frutas geralmente consumidas no Brasil como banana, laranja, limão, goiaba, maçã, mamão, manga, melancia, melão, pêra, dentre outras. Em menores quantidades são encontrados cálcio, fósforo, magnésio, sódio, ferro, zinco, manganês e cobre (MANRIQUE; PÁRRAGA; HERMANN, 2005; RODRIGUES et al., 2011; NEPA, 2011). Algumas vitaminas (retinol, caroteno, tiamina, riboflavina, niacina), encontradas no yacon, geralmente, representam elementos traço em sua composição. Outro composto também presente é o triptofano, existente em quantidades médias de 14,6 ± 7,1 µg g<sup>-1</sup> (TAKENAKA et al., 2003)

A concentração de compostos fenólicos varia, consideravelmente, nas diferentes partes da planta. Os altos níveis presentes nas folhas têm atraído a atenção para sua utilização com finalidades terapêuticas. De acordo com Neves e Silva (2007), o interesse no estudo destes componentes tem aumentado expressivamente devido ao seu potencial antioxidante contra radicais livres, altamente nocivos à saúde humana.

### 2.3. BENEFÍCIOS DO YACON À SAÚDE

O conceito de alimentos funcionais foi proposto inicialmente no Japão, em meados da década de 1980, e nos anos 90, recebeu a designação em inglês de *FOSHU* (*Foods for Specified Health Use*, Alimento para uso Específico de Saúde), referindo-se àqueles alimentos usados como parte da dieta normal que demonstram benefícios fisiológicos e, ou reduzem o risco de doenças crônicas, além de suas funções básicas nutricionais (COSTA; ROSA, 2010).

Diferentemente da maioria de tubérculos e raízes que armazenam carboidratos na forma de amido, o yacon armazena essencialmente frutooligossacarídeos (FOS), açúcares que não podem ser digeridos diretamente pelo organismo humano devido à ausência de enzimas necessárias para o metabolismo destes elementos e são considerados compostos bioativos na alimentação humana (SANTANA; CARDOSO, 2008).

As estruturas de cestosose (GF2), nistose (GF3) e frutofuranosil-nistose (GF4), os principais frutooligossacarídeos, são apresentados na Figura 1 (LACHMAN, et al., 2004).

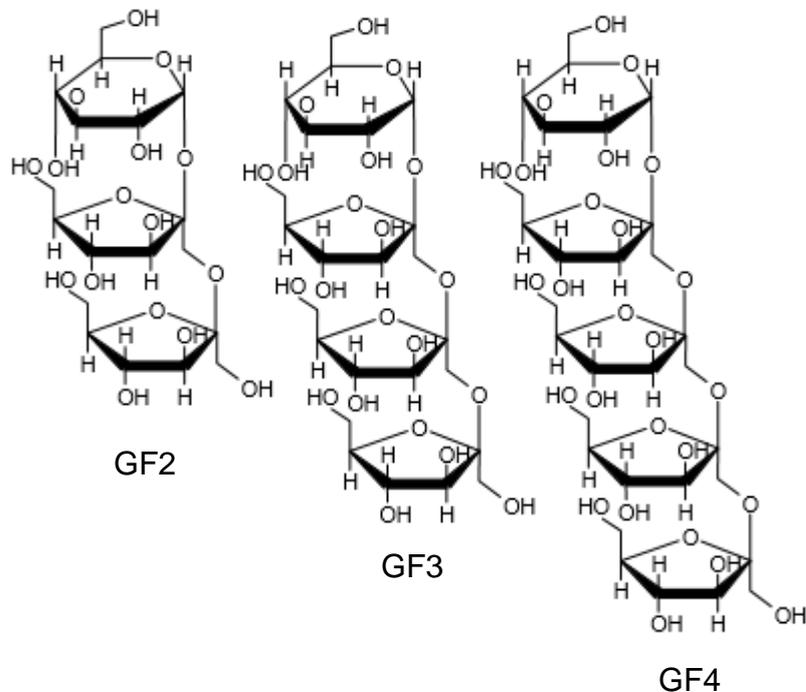


Figura 1. Estrutura dos principais frutooligossacarídeos. Fonte: LACHMAN, et al., 2004.

em que:

GF2: Trisacarídeo contendo duas moléculas de frutose e uma de glicose

GF3: Tetrasacarídeo contendo três moléculas de frutose e uma de glicose

GF4: Pentasacarídeo contendo duas moléculas de frutose e uma de glicose

O yacon é um vegetal muito valorizado devido as propriedades nutricionais e medicinais que possui. Atualmente, tem sido comercializado como alimento nutracêutico e descrito como o alimento com maior conteúdo de FOS na natureza. Uma das principais características destes carboidratos é a estimulação do crescimento de bactérias não patogênicas por meio da fermentação colônica, levando à modulação da composição do ecossistema natural do intestino grosso, sendo assim, classificados como constituintes

bioativos com alegação prebiótica e, portanto, funcionais (LACHMAN et al. 2003).

Os oligossacarídeos não digeríveis, como o FOS, e a fibra dietética, são os principais substratos para o crescimento de micro-organismos intestinais. A fermentação desses produtos promove a acidificação do conteúdo do cólon, e a formação de ácidos graxos de cadeia curta, os quais podem atuar em diferentes tecidos e na regulação dos processos celulares (BONET, et al., 2010).

A incorporação de FOS na dieta ou uma suplementação intensificam a viabilidade e adesão das bactérias probióticas no trato gastrointestinal. Ao mesmo tempo as bactérias patogênicas, incluindo *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* e outras têm sido inibidas concomitantemente (SPIEGEL et al., 1994; GIBSON; ROBERFROID, 1995). Além disso, é importante salientar que o yacon tem poucas calorias, mas possui as fibras necessárias para auxiliar no combate ao estresse de pessoas com estilo de vida sedentário combinado a um consumo excessivo de carboidratos e gorduras (GRAU; REA, 1997). Os produtos da fermentação do FOS podem minimizar as respostas glicêmica e insulinêmica pós-prandiais, além de estimular a glicólise, e ainda resultar em uma porção reduzida de energia (ROSA et al., 2009).

As características da planta e da raiz têm sido vinculadas aos inúmeros benefícios para o consumidor em geral, representando um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico. A continuidade das investigações sobre alimentos com propriedades nutracêuticas, como o yacon, são importantes, inclusive, para a conscientização da população quanto aos seus benefícios e estímulo de consumo (BORGES et al., 2012).

#### 2.4. ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO

As raízes de yacon escurecem rapidamente no armazenamento, corte, ou durante o processamento, e esta tendência pode estar relacionada a seu índice fenólico, especialmente aos níveis de ácido caféico e clorogênico e à atividade endógena de enzimas oxidantes. A presença dos compostos

fenólicos tornam as raízes tuberosas do yacon suscetíveis à reação de escurecimento causada pelas enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) (LACHMAN et al., 2003; PADILHA et al., 2010).

A POD induz alterações negativas de sabor durante a estocagem. Ela é capaz de catalisar um grande número de reações oxidativas, usando peróxido de hidrogênio como substrato ou, em alguns casos, oxigênio como aceptor de hidrogênio. É considerada a enzima vegetal mais estável ao calor e sua inativação tem sido usada como indicador de adequação de branqueamento (FREITAS et al., 2008). A PPO, por sua vez, promove a oxidação enzimática de compostos fenólicos, produzindo, inicialmente, quinona, que rapidamente se condensa, formando pigmentos insolúveis e escuros, denominados melanina, ou reagem não enzimaticamente com aminoácidos, proteínas ou outros compostos (MENOLLI, 2008).

Esta oxidação se dá em presença de oxigênio livre, escurecendo rapidamente a superfície recém-cortada dos tubérculos. Os fatores responsáveis pela reação são as enzimas, o substrato e o oxigênio e, teoricamente, a interferência em um desses fatores impede a reação de ocorrer, controlando assim a oxidação. Do ponto de vista prático, o controle do escurecimento enzimático é geralmente limitado a inibição da enzima utilizando calor, pois inativam-se as enzimas polifenoloxidase e peroxidase, responsáveis pelo escurecimento (CABELLO, 2005).

A desidratação, o armazenamento a baixas temperaturas, o tratamento térmico, a utilização de antioxidantes, a eliminação do oxigênio do meio, são algumas alternativas para evitar o escurecimento enzimático (MOURA, 2004).

## 2.5. PROCESSAMENTO DO YACON

Devido a alta perecibilidade do yacon, os produtos processados dessa raiz fornecem uma alternativa para a sua comercialização. Na região andina o yacon é muito utilizado pelos habitantes locais. Desde 2003 vários supermercados no Peru oferecem caldo, suco, geleia e folhas de chá feito de yacon. (MANRIQUE; HERMANN; BERNET, 2004).

O sabor adocicado e refrescante do yacon o torna um ótimo produto para consumo *in natura* e, assim, apropriado para ser consumido cru, na forma de saladas, além de cozido ou frito. O suco obtido das raízes pode ser fervido e concentrado para produzir blocos sólidos de cor marrom-escura, chamados chancaca, semelhante à rapadura de cana-de-açúcar. O xarope é outro derivado, obtido pela concentração deste suco, apresentando teores acima de 50% de FOS, além de características físicas e sensoriais semelhantes ao mel, com a vantagem de possuir menor índice calórico, podendo ser consumido, com moderação, por diabéticos e indivíduos em dietas hipocalóricas (TEIXEIRA et al., 2009; SCHER; RIOS; NORENÃ, 2009; OLIVEIRA, 2010).

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas a fim de oferecer uma diversificação de produtos a base de yacon, como desidratado osmoticamente com sorbitol (MOURA, 2004), geléia de yacon (PATRI *et al.*, 2009), suco de yacon (LAGO; BERNSTEIN; BRANDELLI, 2011), xarope de yacon (GENTA *et al.*, 2009), dentre outros. A partir das raízes tuberosas de yacon, também é possível obter farinha, que é aplicável a produtos com baixo teor de gordura e açúcar, reduzindo o valor calórico, além de propiciar benefícios fisiológicos (ROLIM et al., 2010; RODRIGUES et al., 2011).

As folhas do yacon são colhidas, desidratadas, trituradas e embaladas em potes ou sacos plásticos. As raízes para consumo "*in natura*" podem ser armazenadas em câmara fria, à temperatura de 4 °C por período de até 30 dias. As raízes também podem ser consumidas na forma desidratada (VILHENA; CÂMARA; KAKIHARA, 2000).

O yacon, na forma de bebida, suco ou néctar, é de fácil comercialização e consumo podendo ser incorporado à dieta dos diabéticos e da população em geral. Para a obtenção de bebidas à base do yacon, as raízes *in natura*, previamente branqueadas são prensadas para a extração do suco, o qual pode ser misturado ao suco de outras frutas ou vegetais e adoçados com açúcar ou edulcorantes, quando destinados ao consumo por diabéticos (SILVA, 2007). Além das propriedades promotoras de saúde, o yacon também pode ser utilizado para melhorar aspectos sensoriais em produtos de panificação de baixo valor calórico (MOSCATTO; PRUDÊNCIO-FERREIRA; HAULY, 2004).

## 2.6. SECAGEM

A água é o componente presente em maior quantidade no yacon *in natura*, contribuindo positivamente para seu baixo valor energético. Por outro lado, isso reduz significativamente sua vida de prateleira para no máximo sete dias em condições não refrigeradas, pois seus tecidos internos são delicados, podendo romper-se facilmente durante a colheita, embalagem e transporte (SANTANA; CARDOSO, 2008; SCHER et al., 2009; VALENTOVÁ et al., 2003).

A busca por processos de transformação que conduzam ao aumento da vida útil do yacon *in natura* tem se tornado importante, pois visa principalmente: (i) a obtenção de um ingrediente de fácil aplicação; (ii) agregar valor aos produtos, de modo que estes produtos apresentem um maior valor nutricional e possam contribuir para uma dieta mais saudável; (iii) permitir a estes produtos a adição da funcionalidade fisiológica, uma vez que há uma crescente demanda por produtos deste tipo, lhes permitindo um grande potencial de mercado (MARANGONI, 2007).

Nas etapas de descascamento e processamento do yacon as membranas celulares são rompidas, assim, os polifenóis ficam disponíveis para se misturar aos demais componentes, especialmente as enzimas citoplasmáticas, condição suficiente para a ocorrência de oxidação enzimática na presença de oxigênio (VALENTOVÁ et al, 2003). A presença dos fenólicos torna a raiz suscetível a reações de escurecimento causadas pelas enzimas peroxidase (POD) e polifenoxidase (PPO). Nessa reação ocorre a formação de melanina (pigmento escuro), que deprecia a qualidade do produto (NEVES; SILVA, 2007), sendo seu controle ou prevenção facilmente realizado por meio de processos como a secagem (CABELLO, 2005).

A farinha de yacon, elaborada pós-secagem, tem se mostrado bastante promissora, não apenas por aumentar a vida útil do yacon, mas também pela possibilidade de ser utilizada como ingrediente funcional na formulação de diversos alimentos processados como bolos, biscoitos, doces, pães e outros. Além disso, a farinha apresenta como vantagem a praticidade, facilidade para consumo e uso na elaboração desses produtos, uma vez que essa poderá ser encontrada em qualquer época do ano, independente do período de safra (RODRIGUES et al., 2011).

Diferentes metodologias têm sido utilizadas na produção da farinha de yacon. No entanto, ainda não há uma padronização do processo que permita a produção em larga escala, o que é importante para viabilizar sua inserção na agroindústria, uma vez que o yacon apresenta um maior valor agregado no mercado que outros tipos de plantas como milho e mandioca. Para viabilizar o processo de produção da farinha de yacon e inseri-lo na agroindústria tornam-se necessários mais estudos para melhorar o sistema de fabricação (RODRIGUES et al., 2011).

A secagem de produtos alimentícios possui como objetivo a remoção da água, o que reduz as alterações de deterioração do alimento. A secagem também é capaz de reduzir a atividade metabólica dos produtos agrícolas, que continua mesmo após a colheita, e pode acarretar na deterioração do produto. Logo, o processo de desidratação, melhora a estabilidade dos alimentos, uma vez que reduz consideravelmente a atividade de água, minimizando as alterações química, física e microbiológica durante o período de armazenamento (HATAMIPOUR et al., 2007).

Em secagens com ar quente a vaporização da água ocorre pela diferença de temperatura entre o ar quente e o alimento, determinando uma diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície do alimento, e, ocasionando a transferência de massa de água do alimento para o ar, na forma de vapor de água (PARK, 2001a).

Durante a secagem, é na superfície do material que ocorre a evaporação da água livre, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos mais importantes desse transporte são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor. A energia envolvida no processo de secagem será correspondente ao calor latente de vaporização (PARK, 2001a, 2001b).

Entende-se por difusão o transporte de massas de moléculas individuais por uma barreira ou espaço livre, que ocorre segundo um processo aleatório e que depende de um gradiente de concentração (LOPES; MAURO, 2009). O coeficiente de difusão é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos, podendo intervir sobre a migração da água e o seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais (MARTINAZZO et al., 2007). Logo, pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia conforme mudam as

condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material. Convenciona-se chamá-la, assim, de difusividade efetiva (OLIVEIRA; OLIVEIRA; PARK, 2006).

Apesar das diferenças entre conteúdo inicial e final (equilíbrio) de umidade do material, da relação da água com a estrutura sólida, do tipo de material biológico e do transporte da água do interior do material até a sua superfície, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de secagem (PARK, YADO; 2001).

O processo de secagem, fundamentado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos ao longo do tempo, conforme apresentado na figura 2.

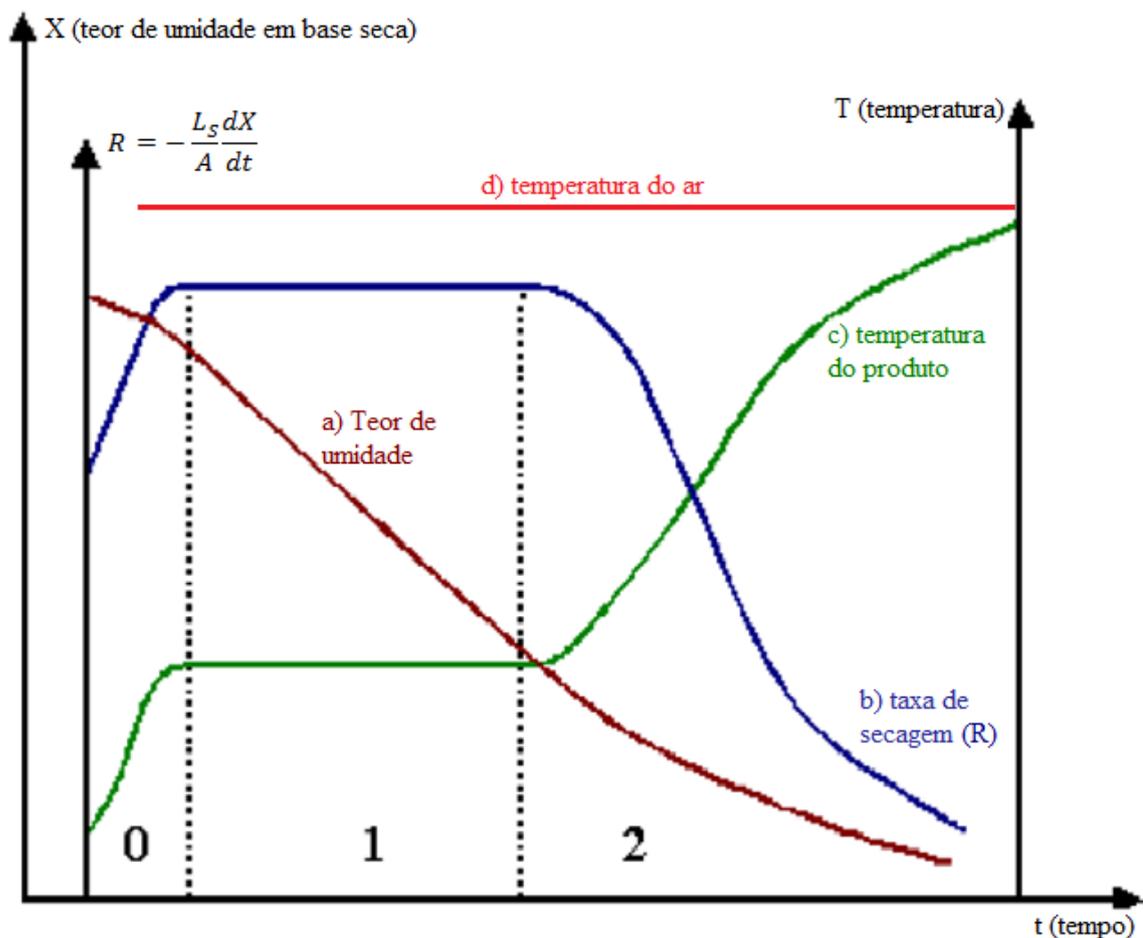


Figura 02. Curva típica de secagem. Fonte: Adaptado de PARK; YADO, 2001.

Na figura acima a curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, conteúdo de umidade do produto em base seca

(X), em relação à evolução do tempo de secagem (t), isto é, é a curva obtida pesando o produto durante a secagem numa determinada condição de secagem. A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, variação do conteúdo de umidade do produto por tempo,  $dX/dt$  em relação à evolução do tempo (t), ou seja, é a curva obtida diferenciando a curva (a). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto (T) em relação à evolução do tempo t), sendo assim, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem (PARK; YADO, 2001).

Segundo Park e Yado (2011) os períodos podem ser analisados da seguinte maneira: O primeiro período representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Essas elevações têm prosseguimento até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água).

O segundo período é caracterizado pela taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante. No terceiro período, a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo assim a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa, o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, aproximando-se da temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, não ocorre mais transferência de massa (PARK; YADO, 2001)

As informações acerca da umidade de equilíbrio são importantes no processamento e armazenamento dos alimentos, pois implica em alterações que o material possa sofrer. No processo de secagem, a umidade de equilíbrio é a umidade final, que o produto pode atingir se o processo for conduzido num longo período de tempo. Em uma determinada umidade relativa, na condição de equilíbrio com o ambiente, o material não perde nem ganha água, isto

ocorre quando a pressão de vapor d'água na superfície do material se iguala à pressão de vapor d'água do ar que o envolve (PARK, 2001a).

Marangoni (2007) utilizou em seu trabalho farinha de yacon, obtida por processo de secagem em estufa com circulação de ar a 60° C durante 72 horas, com posterior trituração, e obteve umidade de 15,42%. Já Rodrigues (2011) utilizou a mesma metodologia de Marangoni (2007) e obteve em seu estudo um teor de umidade de 6,9% para a farinha de yacon obtida após a secagem. Moscatto et al. (2004) obtiveram em seu trabalho farinha de yacon com umidade média de 4,37%. O teor de umidade da farinha está diretamente relacionado a sua qualidade, e deve estar de acordo com a Portaria nº 354/96 do Ministério da Saúde, que estabelece no máximo 15% de umidade para esse produto (BRASIL, 1996).

## 2.7. TENDÊNCIAS DO YACON NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

O setor alimentício está envolto em um ambiente altamente dinâmico, regido por constantes mudanças dos padrões de consumo. A crescente exigência do consumidor por alimentos que apresentem, além de alta qualidade sensorial e nutricional, benefícios associados à saúde, faz surgir a necessidade de novos ingredientes e produtos que possam atender a essas exigências do mercado (ROSA et al., 2009). O yacon é fonte significativa de FOS, que são classificados como um composto prebiótico. Dessa forma, se encaixa nessa tendência, pois além de seu valor sensorial e nutricional, proporciona diversos efeitos benéficos ao organismo.

Do ponto de vista comercial os FOS podem ser divididos em dois grupos, o primeiro é obtido a partir da hidrólise enzimática de inulina, e consiste de unidades lineares de frutossil com ou sem uma unidade final de glicose. Este produto é comercializado como “Raftilose”, produzido pela Orafiti Ltda, da Bélgica, ou como “Frutafit”, produzido pela Imperial-Suikner Unie, da Holanda. O grau de polimerização desses FOS varia entre 1 e 7 unidades de frutossil. Este processo ocorre amplamente na natureza, e esses oligossacarídeos podem ser encontrados em uma grande variedade de plantas, como por exemplo, em tubérculos de yacon (PASSOS; PARK, 2003).

O segundo grupo é preparado por reação enzimática de transfrutossilacção em resíduos de sacarose, e consiste tanto de cadeias lineares como de cadeias ramificadas de oligossacarídeos, com grau de polimerização variando entre 1 e 5 unidades de frutose. Esse produto é produzido pela Meiji Seika Ltd (PASSOS; PARK, 2003).

Os FOS apresentam cerca de um terço do poder adoçante da sacarose, têm maior solubilidade, não cristalizam, não precipitam e nem deixam sensação de areia ou secura na boca, além disso, são menos calóricos. Os FOS não são degradados durante a maioria dos processos de aquecimento, mas podem ser hidrolisados em frutose, em condições muito ácidas e em exposições prolongadas a altas temperatura (YUN, 1996).

Os FOS possuem propriedades importantes para a indústria de alimentos, como ausência de cor e odor, estabilidade em pH neutro e em altas temperaturas, sendo aplicáveis em vários produtos alimentícios. Os FOS são utilizados no sentido de conferir consistência a produtos lácteos, maciez a produtos de panificação, diminuir o ponto de congelamento de sobremesas congeladas, conferir crocância a biscoitos com baixo teor de gordura, além de atuar como ligante em barras de cereais (VASCONCELOS et al., 2010; PATRI et al., 2009)

Os frutanos de estruturas mais simples têm sabor doce, e podem ser usados como adoçante natural, o que representa um novo produto a ser explorado pela indústria farmacêutica e alimentícia (GIBERTONI; NOGUEIRA; VENTURINI FILHO, 2006). A frutose, como adoçante natural, apresenta vantagens sobre a sacarose e glicose, sendo 1,3 vezes mais doce e menos cariogênica que a sacarose. A ingestão de uma quantidade normal de frutose por humanos não depende de insulina, sendo também apropriada para consumo por diabéticos e pessoas em dieta com baixas calorias. Além disso, por cristalizar menos facilmente que a sacarose, proporciona textura cremosa em doces e alimentos congelados, preserva o "*flavor*" dos alimentos, realça o aroma de frutas e de alimentos (GENNARO, et al., 2000).

Em função dos benefícios nutricionais apontados pelo yacon, a farinha de yacon vem sendo desenvolvida e utilizada como ingrediente em alimentos. Tal fato vem permitindo a formulação de produtos com baixo teor de gordura,

reduzido valor calórico e elevada concentração de fibra alimentar, podendo propiciar efeito protetor à saúde do consumidor (ROLIM, 2010).

O processamento do yacon na forma de chips desidratado é também uma opção promissora para a comercialização e agregação de valor à matéria prima. A técnica envolve higienização da raiz, descascamento, fatiamento e secagem, o que favorece ao aumento de vida de prateleira, previne crescimento microbiano, além de redução de custos com transporte, embalagem e armazenamento (KOTOVICZ et al., 2011).

Rosa et al. (2009), realizaram um trabalho com objetivo de elaborar farinha de yacon, e analisar sensorialmente bolos obtidos com esse produto. Os bolos que continham a farinha de yacon apresentaram características sensoriais agradáveis como cor, sabor e textura, logo, essa farinha apresentou potencial para participar da elaboração desse tipo de produto. Padilha et. al (2010) avaliaram o perfil sensorial de bolos de chocolate formulados com farinha de yacon, e observaram que o bolo com maior teor de farinha de yacon (40%) obteve as maiores notas para os atributos: aroma, gosto doce, maciez, sabor de chocolate e qualidade global. Moscatto et al. (2004) encontraram resultados semelhantes na elaboração de bolos com farinha de yacon.

Rolim et al. (2010) encontraram resultados satisfatórios na análise dos principais componentes de pães de forma formulados com farinha de yacon, e concluíram que a fabricação de pães com propriedades prebióticas contendo farinha de yacon é promissora, uma vez que os atributos sensoriais avaliados como aroma, porosidade e textura foram considerados positivos.

Teixeira et al. (2009) elaboraram um suco de laranja com adição de yacon, buscando avaliar a redução do índice glicêmico e a aceitação do novo produto. Como resultado, foi encontrado que a adição de yacon *in natura* no suco de laranja industrializado apresentou-se como ingrediente adequado, uma vez que a formulação contendo yacon demonstrou de maneira geral propriedades químicas e sensoriais semelhantes às do suco de laranja padrão.

Em um estudo sobre a potencialidade de aplicação de farinha de yacon em produtos à base de cereais, concluiu-se que o biscoito funcional tipo “Champurrada”, adicionado de farinha de yacon e de aveia em flocos, apresentou as características físicas adequadas e boa aceitação junto aos consumidores (MARANGONI, 2007).

Desse modo, observa-se que muitos estudos têm sido realizados a fim de incluir o yacon, principalmente sob a forma de farinha, em produtos já existentes no mercado. Tal fato deve-se ao novo cenário do mercado consumidor, que busca uma melhor qualidade de vida, e opta por alimentos que lhes proporcionem benefícios à saúde e, como mostram diversos estudos, o yacon tem sido capaz de atender essa demanda, além disso, tem tido uma boa aceitação nos produtos em que é incorporado.

A Tabela a seguir resume as aplicações dos FOS e diversos produtos industrializados.

Tabela 4. Resumo das aplicações dos frutooligossacarídeos nas indústrias de alimentos

Aplicação	Funcionalidade	Dosagem (%massa/massa)
Produtos lácteos	Substituto de açúcar Sinergia com edulcorantes Corpo e <i>mouthfeel</i> Estabilidade de espuma Fibras e prebióticos	2-10
Sobremesas congeladas	Substituto do açúcar Sinergia com edulcorantes Textura e ponto de derretimento Fibras e prebiótico	5-12
Produtos de panificação	Retenção de umectância Substituto do açúcar Fibras e prebióticos	2-25
Cereais matinas	Crocância Fibras e prebióticos	2-15
Recheios	Substituto do açúcar Melhoria de textura	2-50
Preparados de fruta	Substituto de açúcar Sinergia com edulcorantes Corpo e <i>mouthfeel</i> Fibras e prebióticos	5-50
Produtos dietéticos e substitutos de refeições	Substituto do açúcar Sinergia com edulcorantes Corpo e <i>mouthfeel</i> Fibras e prebióticos Baixo valor calórico	2-20
Pastilhas	Substituto do açúcar Fibras e prebióticos	2-10

Fonte: Franck, 2002.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GERAL

Estudar o processo de secagem do yacon, *Smallanthus sonchifolius*, e avaliar o efeito desse processo sobre as propriedades físico-químicas da farinha de yacon.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ajustar modelos matemáticos descrevendo a cinética de secagem do yacon para cada temperatura;
- Ajustar um modelo matemático generalizado descrevendo o teor de água do yacon em função do tempo e da temperatura de secagem;
- Avaliar o efeito da temperatura do ar de secagem sobre as propriedades físico-químicas da farinha de yacon;
- Estimar o coeficiente de difusão efetivo para o yacon em cada temperatura de secagem e
- Estimar os parâmetros do modelo de Arrhenius para a difusividade efetiva do yacon como função da temperatura do ar de secagem.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. METODOLOGIA

O yacon foi adquirido de um produtor da região serrana do Espírito Santo.

As raízes foram ensacadas e armazenadas sob temperatura de refrigeração no Laboratório de Operações Unitárias do CCA-UFES.

No momento do uso as raízes foram lavadas em água corrente para a retirada de sujidades, além disso, também foram retiradas as partes inadequadas, apodrecida ou escurecidas, com auxílio de uma faca inox. Em seguida, as raízes foram descascadas manualmente em água corrente e submersas em água, depois foram fatiadas com auxílio de um multiprocessador da marca Philips Walita, modelo RI7625, e submersas em água com ácido cítrico na concentração de 0,5% m/v, para evitar o escurecimento da mesma.

O ácido cítrico é o ácido mais comum na indústria de alimentos, sua aplicação reduz o pH, dessa forma, é muito utilizado para diminuir a ação oxidante de enzimas, prevenindo o escurecimento enzimático (BRASIL, 1997). Essa metodologia também foi utilizada no trabalho de Pereira (2009) com yacon. Após esse processo, as fatias de yacon foram drenadas para retirada do excesso de água, com auxílio de uma peneira, colocadas em bandejas perfuradas e em seguida seguiram para o secador.

As raízes foram secas na forma de fatias, com espessura média de 0,26 mm, em seguida foram armazenadas em embalagens plásticas e congeladas. No momento da realização das análises físico-químicas essas raízes foram trituradas em um liquidificador para elaboração das farinhas. As análises físico-químicas do produto *in natura* e das farinhas foram realizadas em triplicata no laboratório de Química de Alimentos, no CCA-UFES.

A Figura 3 apresenta o yacon *in natura*, e a Figura 4 apresenta o yacon processado, antes do processo de secagem.



Figura 3. Tubérculo de yacón *in natura*. Fonte: O autor (2013).



Figura 4. Tubérculo de yacón fatiado. Fonte: O autor (2013).

Em todas as temperaturas de secagem as fatias de uma mesma bandeja foram medidas com auxílio de um paquímetro, para o cálculo do coeficiente de difusão. A massa do material em cada bandeja foi registrada, e em seguida colocada em um secador de leito fixo com ar de secagem na temperatura desejada. As bandejas foram pesadas em intervalo de 15 minutos nas duas primeiras horas, 30 minutos nas próximas duas horas, e em seguida a cada 60 minutos. A pesagem das bandejas deu-se até que essas atingissem peso constante. Foram testadas cinco temperaturas: 40, 50, 60, 70 e 80°C.

A figura 5 apresenta o fluxograma para a obtenção das farinhas de yacón.

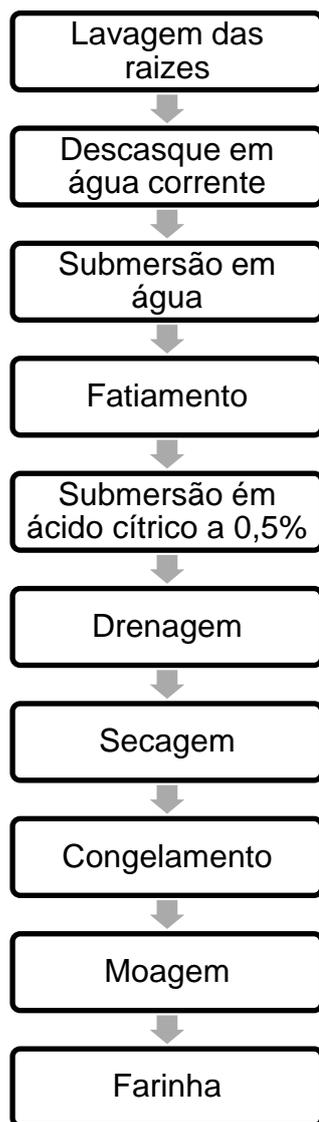


Figura 5. Fluxograma para obtenção de farinha de yacon. Fonte: O autor (2013).

#### 4.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Para avaliar o efeito do processo de secagem sobre as propriedades físico-químicas da farinha de yacon, bem como o efeito da temperatura do ar de secagem sobre essas propriedades, as análises físico-químicas da raiz *in natura* e das farinhas foram realizadas em triplicata, e os dados obtidos foram apresentados sob a forma de estatística descritiva (média e desvio padrão).

As análises físico-químicas realizadas foram: umidade, glicídios redutores em glicose, glicídios não redutores em sacarose, sólidos totais, sólidos solúveis, e fibra bruta. Todas as análises foram feitas de acordo com as

normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985).

A quantidade de fibra bruta foi determinada para o yacon *in natura* e para as farinhas de acordo com o método proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (1985), através de uma hidrólise ácida do material analisado, seguido por hidrólise básica, sendo a mesma metodologia utilizada por Marangoni (2007).

De acordo com a metodologia do IAL, para realizar a análise de açúcar redutor utiliza-se de 2 a 5 g da amostra em 100 ml de água. A partir dessa diluição obtém-se um filtrado, e desse utiliza-se 20 ml para analisar açúcar não redutor. Entretanto, como o yacon é um produto com grande quantidade de água, foi necessário realizar uma adaptação à metodologia do IAL, realizando a análise com uma massa acima da indicada nessa metodologia. Sendo assim, para a realização da análise de açúcar redutor utilizou-se 10 g de yacon *in natura* em 100 ml de água, de forma que, utilizando-se 20 ml desse filtrado na determinação de açúcar não redutor, a massa do yacon foi de 2g.

A análise de cor das farinhas foi realizada em um colorímetro da marca konica-Minolta CM-5 espectrofotométrico de reflectância e transmitância. Foi empregada a escala de cor do sistema CIELAB utilizando a escala de cor L\*, a\* e b\*. Além disso, foram calculadas as coordenadas h\* e c\* de acordo com as equações:

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (1)$$

$$c^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (2)$$

em que:

L\* = indica valores de luminosidade, do preto (L=0) ao branco (L=100);

a\* = indica a região do vermelho (+a) ao verde (-a) e

b\* = indica a região do amarelo (+b) ao azul (-b).

h\* = corresponde a tonalidade de cor e

c\* = corresponde ao grau de saturação da cor.

### 4.3. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A CINÉTICA DE SECAGEM

Para cada temperatura os seguintes modelos de cinética de secagem foram ajustados:

- Modelo de Page (1949):

$$RU = e^{-kt^n} \quad (3)$$

em que:

$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}$  é a razão de umidade;

$X_0$  = teor de água em base seca no tempo zero

$X_t$  = teor de água em base seca no tempo t

$X_e$  = teor de água em base seca no equilíbrio e

K e n = parâmetros do modelo.

- Modelo de Lewis (1921):

$$RU = e^{-kt} \quad (4)$$

em que:

k = parâmetro do modelo.

- Modelo de Henderson e Pabis (1961):

$$RU = a \cdot e^{-kt} \quad (5)$$

em que:

$a$  e k = parâmetros do modelo.

Os ajustes dos parâmetros dos modelos foram feitos por meio da minimização da soma de quadrados dos desvios, usando regressão não linear. Os modelos ajustados foram comparados pelo coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e pelo valor de qui-quadrado reduzido, definido pela seguinte equação:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{prev,i})^2}{N - n} \quad (6)$$

em que:

$RU_{exp,i}$  = valores experimentais da razão de umidade para a  $i$ -ésima observação;

$RU_{prev,i}$  = valores previstos da razão de umidade para a  $i$ -ésima observação;

$N$  = número de observações e

$n$  = o número de parâmetros no modelo.

#### 4.4. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE SECAGEM SOBRE O TEOR DE UMIDADE DO YACON

Escolhido o modelo que melhor descreveu a cinética de secagem, foi avaliado o efeito da temperatura do ar de secagem sobre os parâmetros do modelo. Um modelo matemático foi proposto para descrever esse efeito. A escolha sobre qual tipo de modelo ajustar foi feita após a plotagem do(s) gráfico(s) desse(s) parâmetros versus a temperatura. Escolhida(s) a(s) função(s) que melhor representa(m) o(s) parâmetro(s), um modelo generalizado, em que o(s) parâmetro(s) original é substituído por essa função na cinética de secagem, foi ajustado por regressão não linear.

#### 4.5. DIFUSIVIDADE EFETIVA DO YACON

O modelo de difusão representa uma soma de infinitos termos, em que os primeiros termos são os mais importantes e, a partir de um determinado termo, a contribuição das próximas parcelas podem ser desprezadas. Nesse

modelo a razão de umidade é função do tempo de secagem, e o parâmetro do modelo é o coeficiente de difusão efetivo.

No caso de fatias de yacon, com o ar escoando paralelamente em suas duas faces, pode-se considerar a difusão da água no interior da fatia unidirecional e perpendicular em relação ao escoamento do ar. Nesse caso, o modelo de difusão é dado pela seguinte equação:

$$RU = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{(2i+1)^2} e^{-\frac{(2i+1)^2 D_{ef} \cdot \pi^2}{l^2} \cdot t} \right] \quad (7)$$

em que:

- $RU$  = Razão de umidade;
- $D_{ef}$  = Coeficiente de Difusão Efetivo;
- $t$  = Tempo e
- $l$  = espessura da fatia de yacon.

Para calcular o valor do parâmetro do modelo (coeficiente de difusão) que torna mínima a soma de quadrados dos desvios, o somatório acima pode ser truncado em um número definido de termos, e os demais termos desprezados, pois à medida que aumentamos  $i$ , as parcelas do somatório tornam-se cada vez menos importantes.

A influência da temperatura de secagem sobre a difusividade efetiva foi avaliada ajustando-se o modelo de Arrhenius:

$$Def = D_o e^{-E_a/RT} \quad (8)$$

em que:

- $R$  = constante universal dos gases;
- $E_a$  = Energia de ativação;
- $D_o$  = fator pré-exponencial e
- $T$  = temperatura absoluta em Kelvin.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM SOBRE A CINÉTICA DE SECAGEM

Para cada temperatura de secagem, a razão de umidade foi calculada a partir das massas das bandejas registradas ao longo do tempo, conforme a equação a seguir:

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (9)$$

em que:

$M_t$  = Massa do yacon na bandeja no tempo  $t$ ;

$M_e$  = Massa do yacon na bandeja no equilíbrio;

$M_o$  = Massa do yacon na bandeja no tempo inicial (tempo zero);

A partir dos resultados experimentais de razão de umidade ao longo do tempo de secagem, ajustaram-se os modelos matemáticos dados pelas Equações 3, 4 e 5. A Tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros ajustados, do coeficiente de determinação e da estatística  $\chi^2$  (Eq.6) para cada modelo em todas as temperaturas testadas. O modelo é considerado melhor quanto maior for o coeficiente de determinação e quanto menor o valor de  $\chi^2$ .

Tabela 5. Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação e estatística  $\chi^2$  para os modelos de Page, Lewis e de Henderson e Pabis (H&P) em diferentes temperaturas do ar de secagem

Temperatura	Modelo	$k$	$a$ ou $n$	$r^2$	$\chi^2$
40°C	Page	$8,44 \times 10^{-4}$	1,222	0,997	$4,19 \times 10^{-4}$
	Lewis	$2,94 \times 10^{-4}$	-	0,989	$1,42 \times 10^{-3}$
	H&P	$3,11 \times 10^{-4}$	1,037	0,991	$1,20 \times 10^{-3}$
50°C	Page	$5,69 \times 10^{-4}$	1,389	0,996	$4,61 \times 10^{-4}$
	Lewis	$4,46 \times 10^{-4}$	-	0,974	$3,47 \times 10^{-4}$
	H&P	$4,89 \times 10^{-3}$	1,072	0,981	$2,69 \times 10^{-3}$

60°C	Page	$1,70 \times 10^{-3}$	1,284	0,996	$4,16 \times 10^{-4}$
	Lewis	$6,93 \times 10^{-3}$	-	0,985	$1,82 \times 10^{-3}$
	H&P	$7,34 \times 10^{-3}$	1,048	0,987	$1,59 \times 10^{-3}$
70°C	Page	$1,20 \times 10^{-3}$	1,352	0,996	$4,53 \times 10^{-4}$
	Lewis	$6,80 \times 10^{-3}$	-	0,979	$2,61 \times 10^{-3}$
	H&P	$7,33 \times 10^{-3}$	1,063	0,984	$2,16 \times 10^{-3}$
80°C	Page	$1,01 \times 10^{-3}$	1,419	0,998	$2,39 \times 10^{-4}$
	Lewis	$7,65 \times 10^{-3}$	-	0,975	$3,25 \times 10^{-3}$
	H&P	$8,39 \times 10^{-3}$	1,082	0,982	$2,44 \times 10^{-3}$

Fonte: O autor (2013).

Pode-se observar na Tabela 5 que o Modelo de Page foi o que apresentou o maior valor do coeficiente de determinação e o menor valor de  $\chi^2$  em todas as temperaturas testadas. Logo, conclui-se que, dentre os modelos testados, o Modelo de Page é o que melhor representa as cinéticas de secagem do yacon. Esse resultado também pode ser observado na Figura 6, que apresenta as curvas de secagem do yacon em diferentes temperaturas, obtidas através do programa estatístico Sigma Plot. Observa-se que, dentre os modelos testados, a curva ajustada pelo Modelo de Page foi a que mais se aproximou dos resultados experimentais, confirmando o melhor desempenho desse modelo para ajuste de cinéticas de secagem do yacon.

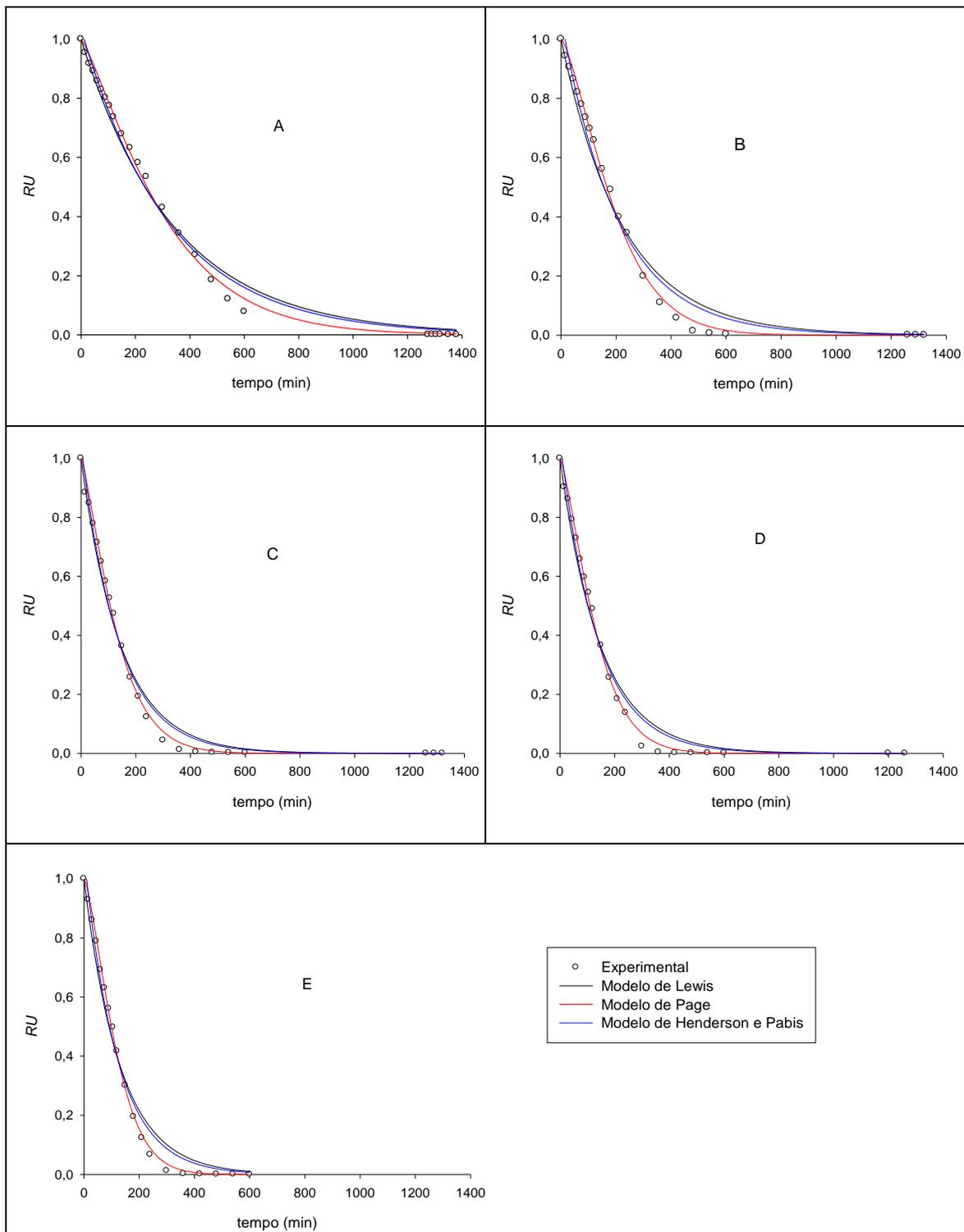


Figura 6 – Curvas de secagem do yacon em diferentes temperaturas do ar de secagem. A: 40°C; B: 50°C; C: 60°C; D: 70°C; E: 80°C. Fonte: O autor (2013).

Assim, o Modelo de Page foi o modelo escolhido para descrever a cinética de secagem do yacon. De acordo com esse modelo, a razão de umidade varia de 1 (tempo zero) a zero (tempo tendendo a infinito). Uma vez que o valor zero para a razão de umidade é na realidade uma assíntota

horizontal, jamais poderíamos definir o tempo final do processo de secagem como aquele no qual a razão de umidade seja zero, pois este tempo seria infinito. Sendo assim, o final do processo de secagem poderia ser definido como o tempo no qual a razão de umidade atingisse um valor suficientemente próximo de zero. Para comparar os diferentes tratamentos quanto ao tempo necessário para o processo de secagem, adotou-se como critério o tempo final sendo aquele no qual a razão de umidade livre atinja o valor de 0,01. Assim, o tempo de secagem pode ser calculado por:

$$t_s = \left( -\frac{\ln(0,01)}{k} \right)^{1/n} \quad (10)$$

em que:

$t_s$  = tempo de secagem, segundo o critério adotado.

A partir dos parâmetros ajustados para o Modelo de Page, calculou-se uma estimativa do tempo de secagem em cada tratamento conforme Eq. 10. Os valores calculados para o tempo de secagem são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Tempo de secagem estimado pela Eq.7 para diferentes temperaturas de secagem

Temperatura (°C)	$t_s$ (min)
40	1140,25
50	650,33
60	467,40
70	446,92
80	377,05

Fonte: O autor (2013).

Observa-se que à medida que se aumenta a temperatura do ar de secagem, o tempo necessário para a secagem diminui. Quando se aumenta a temperatura no intervalo de 40 a 60° C essa redução no tempo de secagem é mais proeminente e, a partir de 60° C a redução no tempo de secagem torna-se menor com o aumento da temperatura. Essas são informações bastante úteis no projeto e otimização de processos de secagem, pois o custo do processo de

secagem é função do tempo de secagem e da temperatura de secagem. O custo aumenta com o tempo de secagem e o custo por unidade de tempo aumenta com a temperatura de secagem.

A cinética de secagem está diretamente relacionada com a temperatura do processo. O aumento da temperatura resulta em maior transferência de umidade (VIGANÓ, 2012). Contudo, notou-se que apesar da taxa de secagem aumentar com o aumento da temperatura, esse aumento fica menor à medida que a temperatura aumenta.

Reis (2011) avaliou a cinética de secagem a vácuo de fatias de yacon (*Smallanthus sonchifolius*), e ajustou os modelos de Lewis, Henderson- Pabis e Page. O modelo de Lewis foi o que obteve menor valor de  $R^2$  (0,961), seguido pelo modelo de Henderson- Pabis (0,969). O autor atribui a isso, o fato de que o modelo de Lewis possui um menor número de parâmetros do que o modelo de Henderson-Pabis. Isso corrobora com o presente trabalho, pois o modelo de Lewis também apresentou um  $R^2$  menor do que o modelo de Henderson-Pabis. Reis (2011) encontrou um bom ajuste do modelo de Page para a secagem do yacon ( $R^2= 0,995$ ). No presente estudo, o modelo de Page foi o que apresentou melhor valor de  $R^2$  em todas as temperaturas de secagem, o que indica que esse modelo foi o mais adequado para representar a cinética de secagem dessa raiz.

Viganó (2012) avaliou as propriedades termodinâmicas de adsorção de água e cinética de secagem de subprodutos da industrialização de abacaxi (*Ananás comosus L.*), e observou que o modelo de Page ajustou-se melhor aos dados experimentais da casca de abacaxi. Já para o cilindro central do fruto, os modelos de Page e Henderson-Pabis apresentaram melhores resultados estatísticos. Tal fato também foi atribuído ao maior número de parâmetros desses modelos, o que permite que se ajustem aos dados experimentais com mais qualidade. O modelo de Page contém dois parâmetros,  $k$  e  $n$ . O parâmetro  $k$  representa o efeito das condições externas de secagem, como a temperatura (BABALIS; BELESSIOTIS, 2004). O parâmetro  $n$  representa a resistência interna do produto à secagem (CORRÊA et al., 2007).

Guiné e Barroca (2010), estudaram diferentes sistemas de secagem da pêra *S. bartolomeu*, e também encontraram bons ajustes de  $R^2$  para o modelo

de Page. Corrêa, Araújo e Afonso (2003) encontraram que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados de secagem de milho doce.

Portanto, pode-se concluir que o modelo de Page apresenta uma boa representação da cinética de secagem dos produtos agrícolas.

## 5.2. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE SECAGEM SOBRE O TEOR DE UMIDADE DO YACON

Um modelo generalizado que descreva a razão de umidade livre do yacon como função do tempo e da temperatura foi proposto. Partiu-se do Modelo de Page, Eq.3.

A partir dos parâmetros do Modelo de Page estimados nas diferentes temperaturas testadas, verificou-se que o parâmetro  $k$  variou muito mais que o parâmetro  $n$  com a variação da temperatura. O parâmetro  $k$  apresentou um coeficiente de variação de 40%, enquanto que o parâmetro  $n$  apresentou um coeficiente de variação de 6%.

Verificou-se graficamente que o parâmetro  $n$  do Modelo de Page apresentou uma tendência próxima de uma relação linear com a temperatura. Assim, propõe-se a seguinte relação funcional para o parâmetro  $n$ :

$$n = aT + b \quad (11)$$

em que:

$T$  = Temperatura do ar de secagem, em °C  
 $a$  e  $b$  = parâmetros do modelo.

Também verificou-se graficamente que o parâmetro  $k$  do Modelo de Page tem uma tendência de aumentar exponencialmente com a temperatura. Assim, propõe-se a seguinte relação funcional para o parâmetro  $k$ :

$$k = k_1 e^{\frac{-k_2}{T}} \quad (12)$$

em que:

$T$  = Temperatura do ar de secagem, em °C  
 $k_1$  e  $k_2$  = parâmetros do modelo.

Esse modelo proposto pela Eq.12 tem uma forma semelhante ao modelo de Arrhenius. Sua proposição foi motivada pelo fato do parâmetro  $k$  ter variado exponencialmente com a temperatura e pelo fato do parâmetro  $k$  estar relacionado com a difusividade efetiva do material. O modelo de Arrhenius é tradicionalmente o modelo mais utilizado para explicar a variação do coeficiente de difusão em função da temperatura.

Substituindo as Eq. 11 e Eq. 12 na Eq. 3, obtém-se o seguinte modelo generalizado:

$$RU = e^{\left[ - \left( k_1 e^{-\frac{k_2}{T}} \right) t^{(aT+b)} \right]} \quad (13)$$

em que:

$RU$  = é uma função da temperatura,  $T$ , e do tempo,  $t$ .

Utilizando-se todos os dados experimentais de todas as curvas de secagem, ou seja, todos os valores de razão de umidade em todos os tempos de secagem de todas as temperaturas de secagem, o modelo generalizado foi ajustado por meio de regressão não linear.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros ajustados para o modelo generalizado. O modelo ajustado apresentou um coeficiente de determinação igual a 0,9932.

Tabela 7. Parâmetros ajustados para o modelo generalizado, Eq.13

Parâmetro	Estimativa
$k_1$	0,015673481835
$k_2$	152,483538367394
$a$	-0,003237912690
$b$	1,511698218424

Fonte: o autor (2013).

A Figura 7 apresenta o gráfico dos valores preditos pelo modelo generalizado versus os valores experimentais. Observa-se que o modelo

generalizado apresenta um alto valor de coeficiente de determinação, o que significa que esse modelo tem um bom ajuste à secagem do yacon. Além disso, observa-se na Figura 7 que os pontos estão próximos e aleatoriamente distribuídos em torno da reta  $y=x$ , o que confirma que o modelo generalizado ajustado é adequado para estimar a razão de umidade do yacon como função da temperatura do ar de secagem e do tempo de secagem para o sistema de secagem em estudo.

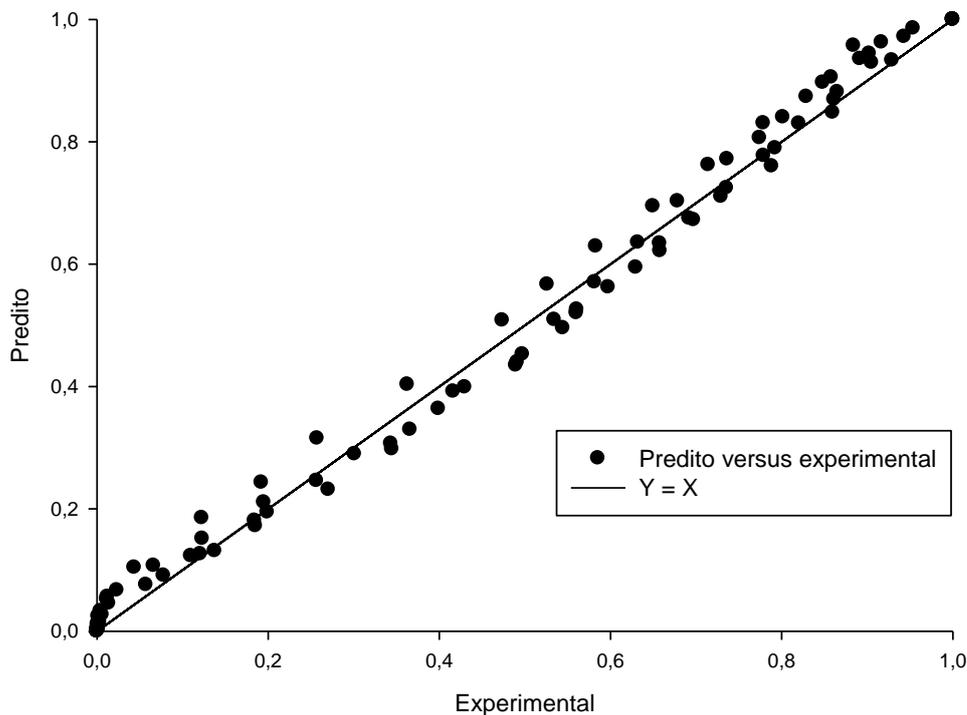


Figura 7 - Valores preditos pelo modelo generalizado versus valores experimentais da razão de umidade. Fonte: O autor (2013).

### 5.3. AVALIAÇÃO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA DO YACON

Para estimar a difusividade efetiva do yacon nas diferentes temperaturas testadas, a Eq. 7 foi ajustada por meio de regressão não linear, truncando-se o somatório em cinco termos, pois verificou-se que a adição de novos termos não alterava a estimativa da difusividade efetiva.

A Tabela 8 apresenta os valores da difusividade efetiva do yacon estimada e do coeficiente de determinação para as diferentes temperaturas testadas.

Tabela 8. Difusividade efetiva do yacon e coeficiente de determinação em diferentes valores de temperatura de secagem

Temperatura (°C)	$D_{ef}$ (m <sup>2</sup> /seg)	r <sup>2</sup>
40	3,031x10 <sup>-10</sup>	0,9652
50	5,273x10 <sup>-10</sup>	0,9806
60	7,858x10 <sup>-10</sup>	0,9807
70	9,627x10 <sup>-10</sup>	0,8936
80	9,952x10 <sup>-10</sup>	0,7800

Fonte: O autor (2013).

Verifica-se que durante a secagem do yacon, a difusividade efetiva aumenta significativamente com a elevação da temperatura, apresentando valores que variam de 3,031x10<sup>-10</sup> a 9,95x10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>/s, quando a temperatura variou de 40°C a 80°C, respectivamente.

Reis et al. (2011) estudaram a cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum*, e concluíram que os valores do coeficiente de difusão aumentaram de acordo com a elevação da temperatura do ar de secagem. Souza e Ocácia (2009) concluíram que os valores dos coeficientes de difusão efetivos médios de umidade nas fatias de maçã aumentaram com o aumento da temperatura do ar de secagem, devido à maior energia fornecida pelo sistema, o que favorece a evaporação da água, mostrando a diminuição das resistências internas de secagem com o aumento da temperatura.

Segundo Goneli et al (2007), a variação do coeficiente de difusão efetivo se dá com a elevação da temperatura, o que aumenta o nível de vibração molecular das moléculas de água e contribui para difusão mais rápida.

Oliveira, Oliveira e Park (2006) determinaram em seu trabalho a difusividade efetiva da raiz de chicória e notaram que quanto maior foi a variável temperatura, maior foi a difusividade efetiva. Desse modo, concluiu que a temperatura do ar foi a única variável que manteve influência significativa sobre a difusividade efetiva.

Goneli (2008), estudando a secagem de sementes de mamona, encontrou magnitudes da difusividade efetiva entre 0,5117x10<sup>-10</sup> e 1,5643x10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s para a faixa de temperatura de 25°C a 55°C. Almeida et al. (2009),

verificaram que durante a secagem do feijão adzuki os valores da difusividade efetiva apresentaram magnitudes entre  $0,51 \times 10^{-10}$  e  $2,23 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para a faixa de temperatura de 30°C a 70°C; o mesmo ocorreu para o feijão vermelho, que apresentou valores entre  $2,1 \times 10^{-10}$  a  $10,4 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para temperaturas de secagem entre 25°C e 55°C (RESENDE et al., 2007). Amendola e Queiroz (2007) encontraram durante a secagem de banana a 50°C, o valor de  $4,58 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para a difusividade efetiva. Babalis e Belessiotis (2004) relataram magnitudes de  $8,40 \times 10^{-10}$  a  $1,13 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s para figo quando aumentaram a temperatura de 55°C para 85°C. Sharma e Prasad (2004) verificaram que, com o aumento da temperatura de secagem de alho de 40°C para 70°C, a difusividade efetiva apresentou magnitudes de  $1,593 \times 10^{-10}$  e  $9,7 \times 10^{-10}$ , respectivamente e Sacilik (2007) encontrou valores de  $8,53 \times 10^{-11}$  a  $17,52 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s para a difusividade efetiva das sementes de abóbora durante a secagem nas temperaturas de 40°C a 60°C. Costa et al. (2011) encontrou valores de difusividade efetiva de sementes de crambe variando de  $0,88 \times 10^{-11}$  a  $5,85 \times 10^{-11}$  quando a temperatura de secagem variou de 30°C para 70°C, respectivamente.

A partir dos valores estimados da difusividade efetiva do yacon em cada temperatura, ajustou-se, por meio de regressão não linear, os parâmetros do modelo de Arrhenius para se obter uma relação funcional da difusividade efetiva do yacon como função da temperatura. A Tabela 9 apresenta os parâmetros do modelo de Arrhenius. O valor do coeficiente de determinação foi de 0,8921

Tabela 9. Parâmetros do modelo de Arrhenius para a secagem do yacon com temperatura de secagem variando de 40°C a 80°C

Parâmetro	Estimativa
$D_0$	1,2025 cm <sup>2</sup> /min
$E_a$	22088,3144 J/mol

Fonte: O autor (2013).

A energia de ativação para a difusão líquida no processo de secagem do yacon foi de 22,088 kJ/mol. Nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto. Zogzas, Maroulis e Marinos-Kouris (1996) ressaltam que a energia de ativação para

produtos agrícolas varia entre 12,7 a 110 kJ/mol. Goneli (2008) determinaram a energia de ativação para a mamona de 15,25 kJ/mol durante a secagem, com uma faixa de temperatura de 25°C a 55°C. Goneli et al. (2007), avaliando a secagem de trigo nas temperatura entre 25 °C e 55°C, verificaram que o produto apresentou energia de ativação para a difusão líquida de 42,0 kJ/mol. Reis et al. (2011) secaram pimenta Cumari do Pará para temperaturas de 45°C a 65°C e obtiveram o valor da energia de ativação de 5,02 kJ/mol. Costa et al. (2011) encontraram o valor da energia de ativação do processo de secagem de sementes de crambe de 37,07 kJ/mol com a temperatura de secagem variando de 30°C a 70°C. A energia de ativação é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto (KASHANINEJAD et al., 2007). Segundo Kayacier e Singh (2004), a energia de ativação diminui com a elevação do teor de água inicial do produto durante o processo de secagem.

## 5.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

### 5.4.1. Análise de umidade do yacon *in natura* e suas farinhas

A umidade média do yacon *in natura* (%) utilizado nesse estudo foi de  $90,25 \pm 1,40$ , logo, conclui-se que a água é o componente principal desse produto. Outros estudos envolvendo o yacon *in natura* também encontraram valores altos de umidade, como Scher (2009) que obteve um valor de 89,69%; Rossi et al., (2011) que encontraram uma umidade de 86,75%, Vasconcelos (2010) que encontrou 91,10% , Alles (2012) que encontro 88,16% e Lago (2010) que encontrou 81,79% de umidade.

As diferentes farinhas tiveram valores diferentes de umidade final, à medida que se aumentou a temperatura de secagem, diminuiu-se a umidade final, e aumentou-se o resíduo seco. O teor de umidade das farinhas variou de  $7,666 \pm 0,288\%$  a  $2,333 \pm 0,577\%$  com o aumento da temperatura, como mostra a Tabela 10.

Alimentos com alto teor umidade possuem uma maior atividade de água. Essa água livre é meio para crescimento de microrganismos e para a

ocorrência de reações enzimáticas. Desse modo, a elaboração de farinha de yacon contribui para aumentar o tempo de prateleira desse produto.

A partir da análise da Tabela 10, pode-se observar que as farinhas de yacon possuem umidade significativamente menor que o yacon *in natura*, o que permite que esse produto perecível tenha maior vida útil.

Tabela 10. Umidade e sólidos totais do yacon *in natura* e da farinha de yacon

Yacon	Umidade (%) Média ± DP	Sólidos totais (%) Média ± DP
<i>In natura</i>	90,250± 1,408	9,742 ± 1,408
Farinha (40°C)	7,666 ± 0,288	92,334 ± 0,288
Farinha (50°C)	6,000 ± 0,500	94,000± 0,500
Farinha (60°C)	3,500 ± 0,510	96,500 ± 0,510
Farinha (70°C)	2,473± 0,005	97,527 ± 0,005
Farinha (80°C)	2,333 ± 0,577	97,667± 0,577

Fonte: O autor (2013).

Nota: DP= Desvio Padrão.

Ao analisar a tabela 9, nota-se que a diferença de umidade entre a farinha seca a 60° C e a farinha seca a 80° C foi de apenas 1,16%. Essa diferença de umidade é muito pequena quando comparado aos efeitos que as altas temperaturas podem causar no produto. Além disso, o custo do processo de secagem está diretamente ligado à temperatura, logo, quanto maior for à temperatura de secagem, maior será o gasto energético e maior será o custo da cadeia de secagem.

Lago (2011) analisou a secagem da polpa de yacon em três diferentes temperaturas, 50, 60 e 70°C, e não encontrou diferença significativa entre as umidades do yacon desidratado a 60 e 70°C ( $p>0,05$ ).

As figuras 8 e 9 apresentam o yacon processado, na forma de chips e na forma de farinha, respectivamente.



Figura 8. Yacon desidratado. Fonte: O autor (2013).



Figura 9: Farinha de yacon Fonte: O autor (2013).

#### **5.4.2 Sólidos solúveis**

A análise dos sólidos solúveis totais mostrou que o yacon *in natura* possui 8,25°Brix. Esse valor está próximo ao estimado por Hermann (1997), que é entre 9 e 12,6°Brix, e acima do valor encontrado por Alles (2012), que foi de 7,5°Brix. Entretanto, o valor de sólidos solúveis encontrado nesse estudo encontra-se abaixo dos valores encontrados por Moura (2004) que foi 9,5°Brix, por Pereira (2009), que foi de 10,75°Brix, por Michels (2005), que foi 9,31°Brix, e abaixo também do valor encontrado por Patri (2009) que foi de 11,67°Brix.

Essa diferença no valor dos sólidos solúveis pode ser devido a fatores como cultivo, época de colheita e forma de armazenagem, que podem alterar a composição final do produto.

À medida que se aumentou a temperatura de secagem ocorreu aumento no teor de sólidos solúveis da farinha de yacon. Em maiores temperaturas de secagem há maior retirada de umidade do produto, desse modo, os sólidos solúveis presentes ficam mais concentrados. Não foi encontrado na literatura valores de sólidos solúveis para farinhas de yacon.

A Tabela 11 apresenta os valores encontrados de sólidos solúveis para o yacon *in natura* e para as farinhas de yacon obtidas a diferentes temperaturas de secagem.

Tabela 11. Sólidos solúveis do yacon *in natura* e farinhas

Yacon	Sólidos Solúveis (%m/m) Média ± DP
<i>In natura</i>	8,250 ± 0,408
Farinha (40°C)	9,650 ± 0,563
Farinha (50°C)	9,646 ± 1,880
Farinha (60°C)	11,480 ± 0,501
Farinha (70°C)	11,793 ± 0,307
Farinha (80°C)	12,890 ± 0,101

Fonte: O autor (2013).

Nota: DP= Desvio Padrão.

#### 5.4.3 Análise de fibra bruta

Os valores de fibra bruta encontrados nesse estudo estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Quantidade média (%) de fibra bruta encontrada no yacon

Yacon	Fibra Bruta (%) Média ± DP
<i>in natura</i>	0,225 ± 0,224
40°C	2,908 ± 0,050
50°C	2,645 ± 0,692
60°C	2,846 ± 0,634
70°C	3,374 ± 0,053
80°C	3,057 ± 0,700

Fonte: O autor (2013).

Nota: DP= Desvio Padrão.

O yacon *in natura* apresentou menor quantidade de fibra bruta, tal fato se deve a grande quantidade de água que esse produto possui, logo, a concentração da fibra torna-se menor. Em estudo realizado por Hermann (1997), foi encontrado 0,36% de fibra alimentar no yacon *in natura*. Michels (2005) encontrou 0,75% de fibra no yacon *in natura*, Moura (2004) encontrou 1,5%, Marangoni (2007) encontrou 2,40% e Kotovicz (2011) encontrou 6,88%. Esta discrepância no teor de fibra alimentar pode ser explicada pela variação da composição do yacon nas diferentes épocas de colheita, local e condições de cultivo, além do método de determinação utilizado (MOURA, 2004).

Marangoni (2007) encontrou 3,86% de fibra bruta na farinha de yacon a 60°C, no presente estudo, a mesma temperatura, foi encontrada  $2,846 \pm 0,634\%$ . Ao analisar os teores de fibra bruta nas diferentes farinhas, nota-se que sua variação não está diretamente relacionada ao aumento da temperatura de secagem, logo, podemos inferir que a temperatura de secagem não é a variável que exerce maior influência sobre o teor de fibra bruta do yacon. A variação do teor de fibra bruta está relacionada com as diferentes condições e época de cultivo e colheita do produto, sendo esses fatores os principais responsáveis pela variação da composição centesimal do yacon.

#### 5.4.4 Açúcares

A Tabela 13 apresenta os valores de açúcar redutor e açúcar não redutor encontrado no yacon *in natura* e nas farinhas.

Tabela 13. Valores de açúcar redutor e não redutor do yacon *in natura* e farinhas

Yacon	Açúcar redutor (%)	Açúcar não redutor (%)
	Média $\pm$ DP	Média $\pm$ DP
<i>In natura</i>	5,523 $\pm$ 0,378	2,253 $\pm$ 0,558
40°C	23,413 $\pm$ 2,198	37,445 $\pm$ 6,823
50°C	20,973 $\pm$ 2,647	38,716 $\pm$ 2,022
60°C	27,606 $\pm$ 0,300	31,543 $\pm$ 2,131
70°C	29,413 $\pm$ 0,248	29,915 $\pm$ 1,760

80°C	30,306 ± 0,460	31,213 ± 0,825
------	----------------	----------------

Fonte: O autor (2013).

Nota: DP= Desvio Padrão.

#### 5.4.4.1. Açúcar redutor

O yacon *in natura* apresentou menor teor de açúcar redutor do que as farinhas. Isso é devido a grande quantidade de água que esse produto possui, fazendo com que os açúcares fiquem menos concentrados. Kotovicz (2011) encontrou em seu estudo um valor de 2,86% de açúcar redutor em yacon *in natura*, Moura (2004) encontrou 2,54%, e Patri (2009) 3,94%. O valor encontrado no presente estudo está acima dos valores apresentados em demais trabalhos, entretanto, essa diferença é explicada pela variação da composição do fruto, que é influenciada por diversos fatores, como época de cultivo e colheita, condições de armazenagem e transporte.

Observa-se que, à medida que se aumentou a temperatura se secagem, houve uma tendência ao aumento no teor de açúcar redutor, a partir da temperatura de 50° C esse aumento foi crescente, além disso, a farinha elaborada a 80°C foi a que apresentou maior média de açúcar redutor. Tal fato pode ser devido ao efeito da temperatura, que ocasiona hidrólise nos açúcares não redutores, convertendo-os em redutores. Scher (2009) observou em seu estudo que a desidratação do yacon a 70°C aumentou a quantidade de açúcar redutor, e atribuiu a isso à atividade da enzima inulinase, que causa hidrólise de inulina.

#### 5.4.4.2. Açúcar não redutor

A quantidade de açúcares não redutores foi menor no produto *in natura*, como já dito anteriormente, isso se deve a grande quantidade de água que o yacon possui. Kotovicz (2011) encontrou em seu estudo com yacon *in natura* um valor de 6,18% de açúcar não redutor, Moura (2004) encontrou 1,81%. Essas discrepâncias entre os valores de açúcar não redutor apresentado pelos presentes estudos são devido aos diversos fatores externos que afetam a composição do yacon. Normalmente a porcentagem dos açúcares das raízes

varia de forma significativa em função de fatores como cultivar, a época de cultivo e colheita, o clima e a temperatura na pós-colheita (SANTANA; CARDOSO, 2008).

Entre as farinhas, o maior teor de açúcar não redutor foi observado à temperatura de 50°C, e o menor a 70°C. Essa diferença entre os teores de açúcar não redutor das farinhas pode ser devido à hidrólise dos açúcares complexos, causada pelas altas temperaturas. Analisando os teores de açúcar redutor e não redutor em cada temperatura de secagem, nota-se que a partir da temperatura de 50° C, à medida que o teor de açúcar redutor aumentou, o teor de açúcar não redutor diminuiu o que também indica hidrólise dos açúcares complexos presentes na farinha de yacon.

Além disso, também deve-se considerar que a variação da composição inicial de açúcares no fruto pode influenciar na concentração final de açúcares no pós secagem.

#### **5.4.5. Análise de cor das farinhas**

A cor é um aspecto que influi na qualidade e na apreciação dos alimentos, contribuindo para sua aceitação, ou rejeição. Determinados alimentos devem possuir formas, tamanho e cor característicos do produto. Em muitos casos, a alteração da cor é acompanhada de outras alterações que não são desejáveis, o que leva a não aceitação do produto por parte do consumidor (MICHELS, 2005).

A escala CIEL\*a\*b\* é composta pelas seguintes propriedades: luminosidade ( $L^*$ ) que varia entre 0 (preto) e 100 (branco); tonalidade verde-vermelha ( $a^*$ ) ,onde valores negativos correspondem ao verde e valores positivos correspondem ao vermelho; e tonalidade azul-amarela ( $b^*$ ), onde valores negativos correspondem ao azul e valores positivos correspondem ao amarelo. Além disso, essa escala contém as coordenadas  $C^*$  e  $h^*$ , em que  $C^*$  que corresponde ao grau de pureza de uma cor em relação à mistura com a cor cinza, e o ângulo de tom  $h^*$ , que representa as diferentes cores existentes. (HUNTERLAB, 2000; Reis, 2011)

A Tabela 14 representa os valores da escala CIEL\*a\*b\*, com as coordenadas c\* e h\*, para as farinhas de yacon provenientes de diferentes temperaturas.

Tabela 14. Valores da escala CIEL\*a\*b\* e das coordenadas c\* e h\* para as farinhas de yacon

Temperatura de secagem	L*	*a	b*	c*	h*
40°C	52,27	9,56	25,85	27,56	69,79
50°C	64,37	8,03	28,38	29,49	74,20
60°C	63,73	8,45	29,77	30,94	74,15
70°C	63,07	8,58	31,06	32,22	74,55
80°C	66,12	8,57	33,13	34,22	75,49

Fonte: O autor (2013).

Com o aumento da temperatura de secagem de 40°C para 50°C houve aumento da luminosidade, entretanto, esse valor diminui nas temperaturas de 60°C e 70°C, tornando a aumentar com a temperatura de 80°C. Logo, a farinha a 80°C foi a farinha mais clara.

Em estudo realizado por Reis (2011), foi avaliado L\*, a\* e b\* em fatias de yacon secas em diferentes temperaturas (45, 55 e 65°C) em função de concentrações variadas de ácido cítrico (0,2; 0,6 e 1%). Encontrou-se que para todas as condições de secagem analisadas houve diminuição da luminosidade. O autor atribuiu esse fato a entrada de luz ambiente entre a cabeça medidora do equipamento e a amostra, que ocorreu devido ao formato irregular e textura rígida da amostra ao final, atrapalhando o perfeito encaixe entre equipamento e amostra.

O yacon depois de fatiado foi imerso em solução de ácido cítrico a 0,5% para evitar o escurecimento. A escolha do ácido cítrico se deu porque, segundo Michels (2005) sua atuação sobre a enzima PPO e a diminuição do pH exercem uma dupla ação sobre o escurecimento oxidativo, entretanto, a variação nos valores de luminosidade pode ser devido a quantidade insuficiente de ácido cítrico na solução. Michels (2005) avaliou as medidas de cor do parâmetro L\* para diferentes tratamentos antioxidantes em função do tempo de armazenamento, e encontrou maiores médias de luminosidade para tratamentos com 3% de ácido cítrico, seguido do tratamento com 1% de ácido ascórbico e 2% de ácido cítrico.

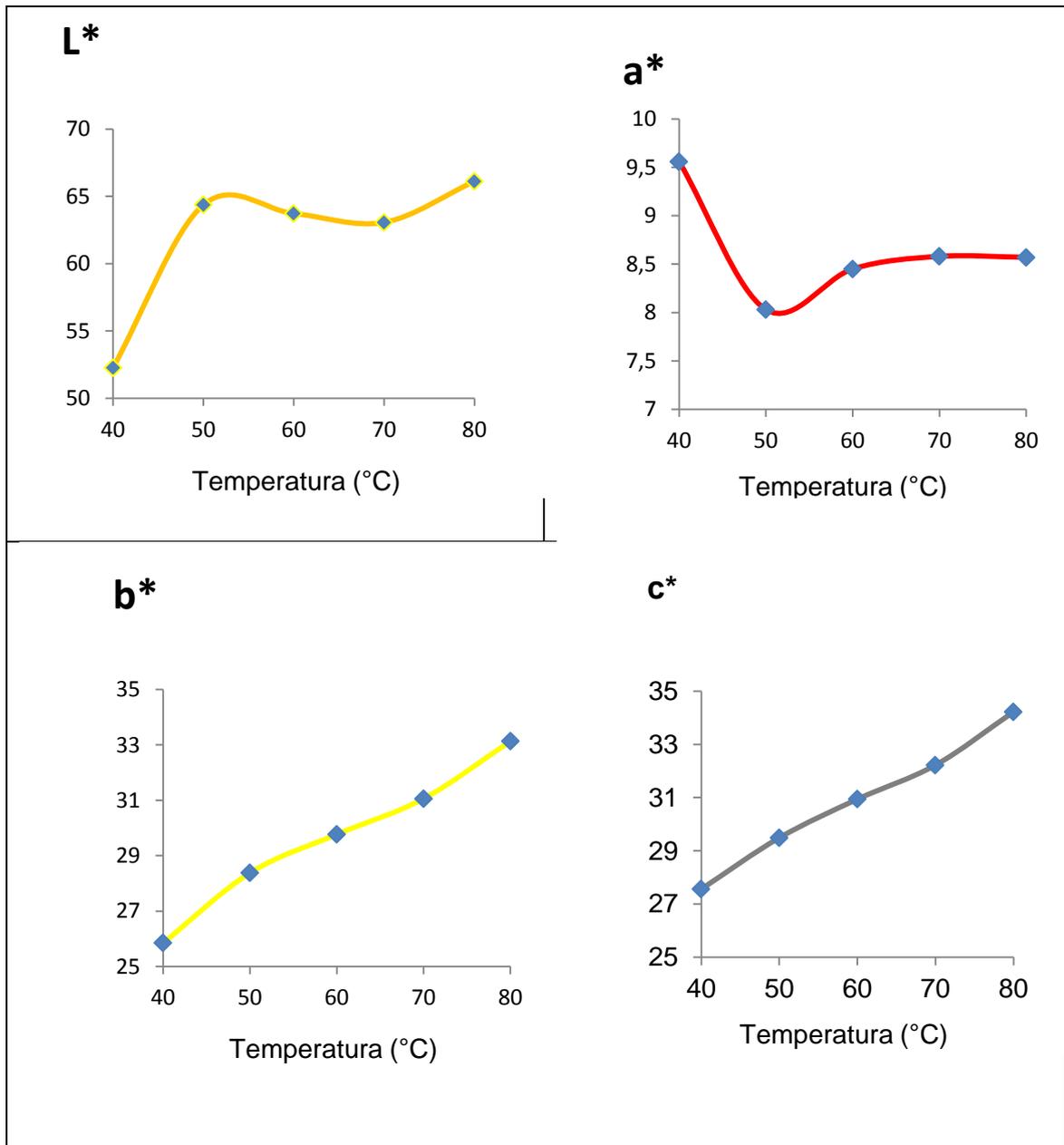
Reis (2011) obteve aumento de  $b^*$  para praticamente todas as condições de secagem em seu estudo. Esse dado converge com o presente estudo, pois com o aumento da temperatura houve aumento de  $b^*$ , e isso significa que ocorreu aumento da tonalidade azul-amarelada. O aumento de  $b^*$  proporciona melhora na qualidade sensorial da farinha, deixando-a mais apelativa e melhorando sua qualidade final. Reis (2011) também obteve aumento de  $a^*$  para todas as condições de secagem. No presente estudo, a variação da tonalidade verde-vermelha ( $a^*$ ) da farinha diminuiu com o aumento da temperatura de 40°C para a temperatura de 50°C. A partir de 50°C o valor de  $a^*$  aumentou com a elevação da temperatura de secagem.

Com relação ao croma ( $c$ ), houve um aumento com a elevação da temperatura de secagem do yacon. O croma se refere a pureza ou intensidade da cor, croma igual a zero significa que a tonalidade da cor é cinza, e quanto maior o valor, maior a pureza ou intensidade da cor. Logo, infere-se que, com o aumento da temperatura de secagem, obtém-se uma maior pureza da cor da farinha. A variável  $h^*$  é referente ao ângulo de tom, tonalidade, cor propriamente dita. Os valores de  $h^*$  encontrados para a farinha de yacon estão entre os ângulos 0° e 90°, o que significa que a tonalidade da farinha de yacon está entre vermelho (0°) e amarelo (90°). À medida que ocorre aumento na temperatura de secagem o valor de  $h^*$  se aproxima de 90°, adquirindo tonalidade mais amarelada, o que é interessante do ponto de vista sensorial na elaboração de farinhas.

Marangoni (2007) avaliou a cor da farinha de yacon elaborada a 60°C, previamente imersa em solução de metabissulfito a 2% para evitar o escurecimento, e teve como resultado:  $L^*= 75,79$ ,  $h^*=83,65$  e  $c^*= 22,34$ . Comparando os valores desses parâmetros com os obtidos no presente estudo, a mesma temperatura, nota-se que o metabissulfito a concentração de 2% foi mais eficiente para evitar o escurecimento da farinha de yacon do que o ácido cítrico a 0,5%, pois a farinha apresentou-se mais clara.

O aumento da temperatura de secagem poderia ter contribuído para o escurecimento da farinha, através da reação de Maillard de forma mais intensa, entretanto, isso não ocorreu, pois se observa que a secagem a 80° C foi possível obter uma farinha com maior luminosidade, logo, de coloração mais clara.

A figura 10 apresenta as variações da escala CIEL\*a\*b\* e das coordenadas c\* e h\* durante o aumento da temperatura do ar de secagem.



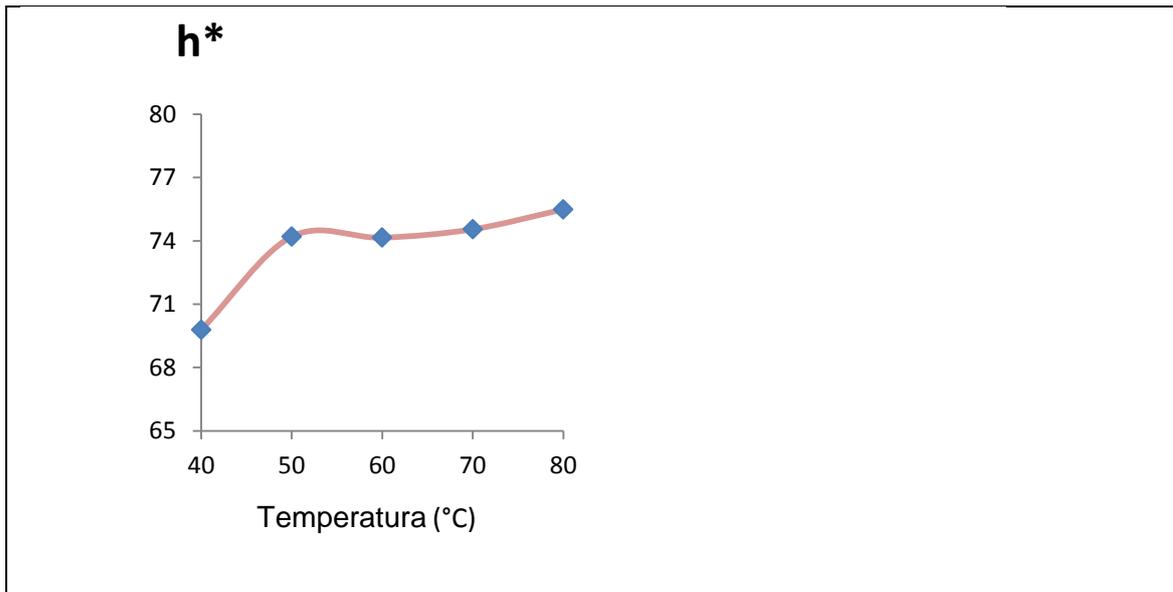


Figura 10. Variações da escala CIE L\*a\*b\* e das coordenadas  $c^*$  e  $h^*$  durante a secagem. Fonte: O autor (2013).

## 6. CONCLUSÕES

O yacon é um tubérculo constituído em sua maior parte por água, sendo assim, sua vida de prateleira é consideravelmente curta. Desse modo, a secagem dessa raiz, seguida da produção de farinha, tem sido uma forma de aumentar o prazo de validade desse produto e permitir seu consumo constante, inclusive, fora do período de safra. Além disso, a elaboração de farinha de yacon também permite que esse produto seja utilizado como ingrediente de produtos industrializados como, suco, pães e bolos.

Observou-se durante a secagem do yacon que o modelo matemático de Page foi o que apresentou melhor ajuste ao experimento, quando comparado com os modelos de Henderson-Pabis e Lewis, isso ocorreu em todas as temperaturas de secagem testadas nesse estudo. Tal fato pode ser observado através das curvas de secagem, do alto valor de  $R^2$  e do baixo valor de qui-quadrado que o modelo de Page apresentou.

Durante a secagem do yacon a  $60^\circ\text{C}$  a umidade de equilíbrio foi atingida próximo a 400 minutos. Esse tempo não foi substancialmente maior nas temperaturas de  $70$  e  $80^\circ\text{C}$  como era esperado. A partir disso, pode-se inferir que apesar da taxa de secagem aumentar com a elevação da temperatura, esse aumento fica cada vez menor à medida que a temperatura aumenta. Além disso, à medida que se prossegue a secagem, a água livre no produto está cada vez em menor quantidade, o que também justifica essa constância no valor da taxa de secagem a partir da temperatura de  $60^\circ\text{C}$ .

O modelo matemático generalizado para a representação da secagem do yacon foi elaborado a partir do modelo de Page, visto que, esse foi o que obteve o melhor ajuste ao experimento. O modelo generalizado proposto apresentou alto valor de  $R^2$ , o que mostra o seu bom ajuste à secagem do yacon.

Durante o processo de secagem notou-se que à medida que a temperatura do ar de secagem aumentou, os valores do coeficiente de difusão efetivo também aumentaram. Isso implica que a temperatura de secagem tem a capacidade de influenciar no coeficiente de difusão efetivo, e assim, na velocidade de secagem. Logo, quanto mais alta a temperatura do ar de secagem, maior será a velocidade de secagem.

A partir da secagem a 60° C não houve variação substancialmente importante no valor de umidade das farinhas de yacon. A farinha elaborada a 80 ° C foi a que apresentou maior valor de açúcar redutor, o que pode significar hidrólise de inulina pelo efeito térmico. Já a farinha elaborada a 50° C apresentou maior valor de açúcar não redutor. As farinhas obtidas com o aumento das temperaturas apresentaram cores mais claras.

Portanto, com tudo que foi apresentado no presente estudo, conclui-se que a secagem do yacon a temperatura de 60° C, para posterior obtenção de farinha, é a mais interessante, pois, além de diminuir a umidade dessa raiz com menor custo energético, preserva as características mais próximas ao produto *in natura* e fornece farinha de boa qualidade nutricional e sensorial.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLES, M.J.L. **Aplicação de processos de separação por membranas para a obtenção de frutooligossacarídeos funcionais a partir da raiz de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ALMEIDA, D. P., et al. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Global Science and Technology**, v.2, p.72-83. 2009.

AMENDOLA, M.; QUEIROZ, M. R. de. Mathematical methodologies for calculating the mass diffusion coefficient of bananas during drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.623-627, 2007.

AYBAR, M. J.; SÁNCHEZ, R. A.N; GRAU A, S. S. S. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 74, n. 2, p. 125-132, 2001.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.449-458, 2004.

BONET, M.E.B., et al. Prebiotic effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on intestinal mucosa using a mouse model. **Food and Agricultural Immunology**, v. 21, n. 2, p. 175-189, Jun- 2010.

BORGES et al. Yacon na alimentação humana: aspectos nutricionais, funcionais, utilização e toxicidade. **Scientia Amazonia**, v. 1, n.3, X-X, 2012.

**Brasil**. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. Dispõe sobre regulamento técnico: aditivos alimentares- definição, classificação e emprego. <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d1b6da0047457b4d880fdc3fbc4c6735/PORTARIA\\_540\\_1997.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d1b6da0047457b4d880fdc3fbc4c6735/PORTARIA_540_1997.pdf?MOD=AJPERES)>. Acesso em: 28 de março, 2013.

**Brasil**. Ministério da Saúde. Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Adota o Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 22 jul. 1997.

CABELLO, C. Extração e pré-tratamento químico de frutanos de yacon, *Polymnia sonchifolia*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 202-207, 2005.

CAPITO, S. M. P. **Raiz tuberosa de yacon (*Polymnia sonchifolia*): caracterização química e métodos de determinação de frutanos (CG e CLAE-DPA)**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos.

Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Estadual de São Paulo, 2001.

CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO, P.C.J. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (zea mays l.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.2, p.110-119, 2003.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (phaseolus vulgaris l.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.501-510, 2007.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; SOUSA, K.A., GONÇALVES, D.N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.15, n.10, p.1089-1096. 2011.

COSTA, N. M. B.; ROSA, C. O. B. **Alimentos funcionais: componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. Rio de Janeiro: Rubio, p. 536, 2010.

FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, Suppl. 2, p. 287–291, 2002.

FREITAS, A. A. et al. Atividades das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) nas uvas das cultivares benitaka e rubi e em seus sucos e geléias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n.1, p. 172-177, 2008.

GENNARO, S. et al. Studies on the physicochemical properties of inulin and inulin oligomers. **Food Chemistry** , v. 68, p. 179- 183, 2000.

GENTA, S. et al. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, v. 28, p. 182-187, 2009.

GIBERTONI, C. F.; NOGUEIRA, A. M. P.; VENTURINI FILHO, W. G. Ultra e microfiltração de suco de yacon (Polymnia sonchifolia) para obtenção de xarope rico em frutanos. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 2, p. 68-81, 2006.

GIBSON, G.R.; ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota – introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, Madison, v.125, p. 1401-1412, 1995.

GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade de mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**. Viçosa: UFV, 2008. 186p. Tese Doutorado.

GONELI, A. L. et al. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.135-140. 2007.

GRAU, A.; REA, J. Yacon. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: HERMANN, M.; HELLER, J. Andean roots and tubers: Ahipca, arracacha, maca and yacon. **Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: IPK, Gatersleben / IPGRI. p. 199-242, 1997.

GUINÉ, R. BARROCA, M.J. Properties of pears dried with different drying processes. **5<sup>th</sup> Central European Congress of Food**, Bratislava, Slovak Republic, 2010.

HUNTERLAB. What is color and how is measured. Applications Note, v.12, n.5, p.1-8, 2000. Disponível em <[http://www.hunterlab.com/appnotes/an05\\_00.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an05_00.pdf)>. Acesso em 29/07/2013.

HATAMIPOUR, M.S., et al. Drying characteristics of six varieties of sweet potatoes in different dryers. **Food and Bioproducts Processing**, v.85, n.3, p. 171–177, 2007.

HERMANN, M.; I. FREIRE; PAZOS, C. Compositional diversity of the yacon storage root. In: **Impact on a changing world: Program report 1997–98**. International Potato Centre (CIP), Lima (Perú), p. 425-432, 1999. Disponível em: <<http://www.cipotato.org/market/PgmRprts/pr97-98/51yacon.pdf>>. Acesso em 1 dez 2012.

KAKUTA, H., et al. Ent-kaurenic Acid and Its Compounds from Glandular Trichome Exudate and Leaf Extracts of *Polymnia sonchifolia*. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 56, n. 10, p. 1562-1564, 1992.

KANASHIRO, R. S.; FERRARO, R. G.; POLTRONIERI, F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): importância funcional. **Nutrição em Pauta**, São Paulo, v. 16, n. 92, p. 9-12, 2008.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.98-108, 2007

KAYACIER, A.; SINGH, R. K. Application of effective diffusivity approach for the moisture content prediction of tortilla chips during baking. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.37, p.275-281, 2004.

KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem do yacon (*polymnia sonchifolia*)**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Curitiba, 2011.

LACHMAN, J., et al. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. **Plant Soil Environ**, Prague, v. 50, n.9, p. 383-390, 2004

LACHMAN, J. ; FERNÁNDEZ, EC; ORSÁK, M. Yacon [Smallanthus sonchifolia (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. **Plant Soil and Environment**, Prague, v.49, n. 6, p. 283- 290, 2003.

LAGO, C. C.; BERNSTEIN, A.; BRANDELLI, A. Estudo do comportamento reológico, da atividade de água e do ponto de início de congelamento do suco de yacon (Smallanthus sonchifolius) a diferentes concentrações. **Brazilian Journal of Food Technoly**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2011.

LOPES, L. M.; MAURO, M. A. Cinética da desidratação osmótica de abacate fresco e branqueado termicamente. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, Uberlândia, Minas Gerais, julho de 2009.

MADRIGAL, L.; SANGRONIS, E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 57, n. 4, p. 387-396, 2007.

MANRIQUE, I.; HERMANN, M.; BERNET, T. **Yacon - Fact Sheet**. International Potato Center (CIP) Lima, Peru December 2004 <[www.cipotato.org/artc/cipcrops/factsheetyacon.pdf](http://www.cipotato.org/artc/cipcrops/factsheetyacon.pdf)>. Acesso em 1 dez 2012.

MANRIQUE, I.; PARRAGA, A.; HERMANN, M. Yacon syrup: principles and processing. In: **Series: Conservacion y uso de la biodiversidad de raices y tuberculos andinos: una decada de investigacion para el desarrollo (1993–2003)**. Lima, Peru: International Potato Center, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Erbacher Foundation Swiss Agency for Development and Cooperation, p.31, 2003.

MARANGONI, A.L. **Potencialidade de aplicação de farinha de Yacon (Polymnia sonchifolia) em produtos à base de cereais**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2007.

MARTINAZZO, A. P., et al. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. **Revista Brasileira Plantas Medicinai**s, Botucatu, v.9, n.1, p.68-72, 2007.

MENOLLI, L. N. Atuação das enzimas oxidativas no escurecimento causado pela injúria por frio em raízes de batata baroa. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 57-63, 2008.

MICHELS, I. **Aspectos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de yacon (polymnia sonchifolia) armazenados em embalagens com atmosfera modificada**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, 2005.

MOSCATTO, J.A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S.H.; HAULY, M.C.O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.4, p.634-640, out.-dez. 2004.

MOURA, C. P. **Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de yacon (*Polymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, 2004.

NEVES, V. A.; SILVA, M. A. Polyphenol oxidase from yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 6, p. 2424-2430, 2007.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** 2. Ed. São Paulo, v. 1, p. 32, 1985.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO (NEPA). **Tabela brasileira de composição de alimentos.** 4. Ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, p. 161, 2011.

OLIVEIRA, L. A. **Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): compostos fenólicos totais e efeitos sobre a glicemia e estresse oxidativo em ratos diabéticos.** Dissertação de Mestrado em Ciências Nutricionais. Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Araraquara, 2010.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K.J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, jan./abr., 2006.

PADILHA, V.M., et al. Peril sensorial de bolos de chocolate formulados com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.3, 2010

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001a.

PARK, K.J.; YADO, M.K.M.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001b.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Frutooligossacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 385-390, 2003.

PRATI, P. et al. Estabilidade dos componentes funcionais de geléia de yacon, goiaba e acerola, sem adição de açúcares. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 285-294, 2009.

PEREIRA, R. A. C. B. **Extração e utilização de frutanos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) na funcionalização de alimentos.** Botucatu. Tese de Doutorado

em Agronomia. Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, Botucatu. 2009.

QUINTEROS, E.T.T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon.** Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

REIS, R. C., et al. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.347–353, 2011.

RESENDE, O. et al. Bean moisture diffusivity and drying kinetics: a comparison of the liquid diffusion model when taking into account and neglecting grain shrinkage. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.5, p.51-58, 2007.

ROBERFROID, M. et al. Prebiotic effects: metabolic and health benefits. **British Journal of Nutrition**, v.104, Suppl 2:S1-63, Aug- 2010.

RODRIGUES, F. C., et al. Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 70, n. 3, p. 290-295, 2011.

ROLIM, P.M. et. al. Análise de componentes principais de pães de forma formulados com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 12-17, 2010.

ROSA, C.S. et al., Elaboração de bolo com farinha de Yacon. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1869-1872, set, 2009.

ROSSI, D. M., et al. Triagem preliminar da presença de inulina em plantas alimentícias. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara v. 22, n. 2, p. 247-250, abr./jun. 2011.

SACILIK, K. Effect of drying methods on thinlayer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). **Journal of Food Engineering**, v.79, p.23-30, 2007.

SALES, R.L. et. al. Yacon: aspectos nutricionais, tecnológicos e funcionais. In: COSTA, N.M.B.; ROSA, C.O.B. **Alimentos funcionais: componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. 1ª ed. Rio de Janeiro (RJ): Ed. Rúbio; p. 229-239, 2010.

SANTANA, I.; CARDOSO, M.H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.898-905, mai-jun, 2008.

SCHER, C. F.; RIOS, A. O.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 2169-2175, 2009.

SHARMA, G. P.; PRASAD, S. Effective moisture diffusivity of garlic cloves under going microwave-convective drying. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.609-617, 2004.

SILVA, A.S.S. **A raiz do yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepping & Endlicher) como fonte de fibras alimentares, sua caracterização físico-química, uso na panificação e sua influência pós-prandial.** Dissertação de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SOUZA, V. C.; OCÁCIA, G. C. Cinética da secagem de maçã em secador convectivo. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, Uberlândia, Minas Gerais, julho de 2009.

SPIEGEL, J.E. et al. Safety and benefits of fructooligosaccharides as food ingredients. **Food Technology**, Boston, v.48, p.85-89, 1994.

TAKENAKA, M. et al. Caffeic acid derivatives in roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 3, p. 793-796, 2003.

TEIXEIRA, A. P.; PAIVA, C. F.; RESENDE, A. J.; ZANDONADI, R. P. O efeito da adição de yacon no suco de laranja industrializado sobre a curva glicêmica de estudantes universitários. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 2, p. 313-319, 2009.

VALENTOVÁ, K. et. al. Antioxidant activity of extracts from the leaves of *Smallanthus sonchifolius*. **European Journal of Nutrition**, v. 42, n. 1, p. 61-66, 2003.

VASCONCELOS, C. M., et al. Determination of the soluble dietary fiber fraction in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) root and flour by enzymatic-gravimetric method and high pressure liquid chromatography. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 2, p. 188-193, 2010.

VIGANÓ, J. **Propriedades termodinâmicas de adsorção de água e cinética de secagem de subprodutos da industrialização de abacaxi (*Ananas comosus* L.) – casca e cilindro central.** Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos. São José do Rio Preto, 2012.

VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; KAKIHARA, S.T. O cultivo de yacon no Brasil, **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, mar. 2000.

YUN, J.W. Fructooligosaccharides: occurrence, preparation and applications. **Enzymes and Microbial Technology**, v.19, n.2, p.107-117, 1996.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v.14, p.2225-2253, 1996.