

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS (PPGCTA)**

CAMILA CARVALHO LAGO

**ESTUDO DO SUCO CONCENTRADO E DA POLPA DE YACON
(*Smallanthus sonchifolius*)**

Porto Alegre

2010

CAMILA CARVALHO LAGO

ESTUDO DO SUCO CONCENTRADO E DA POLPA DE YACON
(Smallanthus sonchifolius)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Cacicano Pelayo Zapata
Noreña

Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Brandelli

Porto Alegre

2010

Camila Carvalho Lago
(Bacharel em Química Industrial de Alimentos/ UNIJUÍ-UERGS)

DISSERTAÇÃO
ESTUDO DO SUCO CONCENTRADO E DA POLPA DE YACON
(*Smallanthus sonchifolius*)

Submetida como parte dos requisitos para obtenção do grau de

MESTRE EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul- Porto Alegre, RS, Brasil.

Aprovada em: /..... /.....
Pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Caciano Pelayo Zapata Noreña
Orientador- PPGCTA/UFRGS

Prof. Dr. Caciano Pelayo Zapata Noreña
Orientador- PPGCTA/UFRGS

Prof. Dr. Adriano Brandelli
Co-orientador- PPGCTA/UFRGS

Homologada em: /..... /.....
Por:

Prof. Dr. Erna Vogt de Jong
Banca-PPGCTA/UFRGS

José Maria Wiest
Coordenador do Programa de
Pós Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos
(PPGCTA)

Prof. Dr. Myriam de Iãs Mercedes S. Mellado
Banca- FURG

Adriano Brandelli
Diretor Do Instituto de Ciência
e Tecnologia de Alimentos
(ICTA/UFRGS)

Prof. Dr. Aline Cassini
Banca- DEQUI/UFRGS

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Tomaz e Nice Lago,
pela confiança, estímulo e amor incondicional,
dedico-lhes esta conquista como gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e por estar sempre comigo;

A minha família pelo apoio e confiança mesmo que distante;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos ICTA-UFRGS pela possibilidade de execução deste trabalho;

Ao Prof. Caciano Zapata Noreña pela orientação e conhecimentos compartilhados;

Ao prof. Adriano Brandelli pela disposição em me ajudar sempre que precisei;

A bolsista de Iniciação Científica, Anahi Bernstein, pela amizade e ajuda nas análises de laboratório;

Ao Departamento de Engenharia Química em especial ao prof. Eduardo Birnfeld por toda ajuda e paciência nas análises de HPLC;

A prof. Nádyá P. da Silveira, por ter disponibilizado o seu laboratório para determinação das análises reológicas;

Aos demais professores, funcionários e colegas pelo conhecimento e colaboração;

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

Meu muito obrigada!!

**“Só uma coisa torna um sonho
impossível: o medo de fracassar.”**

Paulo Coelho

RESUMO

O *Smallanthus sonchifollius* também conhecido como Yacon é uma planta de origem andina que armazena em suas raízes tuberosas os carboidratos frutose, glicose, e, principalmente frutooligossacarídeos e inulina. Os frutooligossacarídeos e a inulina têm sido designados como prebióticos e fibras alimentares solúveis por sua não digestibilidade pelas enzimas do trato digestivo humano, estímulo seletivo do crescimento e atividade de bactérias intestinais promotoras de saúde. Neste trabalho foram estudadas propriedades físico - químicas do suco de yacon concentrado e da polpa de yacon. As raízes foram descascadas, cortadas em rodela de $0,5 \pm 0,2$ cm, branqueadas mediante vapor por 4 minutos seguido por resfriamento em banho de gelo por 3 minutos e posteriormente passadas em um processador de frutas para extração do suco que foi concentrado na faixa de 10 a 50°Brix em rotavapor a vácuo. Foi estudado o comportamento reológico, composição química e atividade de água e o ponto de início de congelamento do suco de yacon em função da concentração de sólidos solúveis. Para as medidas reológicas foi empregado um viscosímetro rotacional, as medidas da atividade de água foram realizadas através de leitura direta em medidor eletrônico e a determinação do ponto de início de congelamento dos sucos foi obtida a partir das curvas de congelamento. O teor de açúcares foi quantificado através de HPLC. Os resultados indicaram que o teor de inulina manteve-se constante, enquanto a concentração dos açúcares reductores glicose e frutose aumentaram com o aumento da concentração. O suco de yacon comportou-se como um fluido newtoniano, observando-se que a viscosidade manteve-se constante para cada concentração independente da taxa de deformação aplicada. Para os sucos com concentrações de 10, 15, 20, 25 e 30°Brix os valores de viscosidade não apresentaram diferenças significativas entre si e para as concentrações maiores que 30°Brix, a viscosidade aumentou significativamente. No caso do ponto de início congelamento, este diminuiu à medida que o suco de yacon foi concentrado não existindo diferenças significativas entre os valores que correspondem às concentrações de 10° com 15° Brix, de 20° com 25°Brix e de 40° com 45°Brix. A atividade de água diminuiu significativamente apenas na concentração de 50°Brix. A seguir foi estudado o comportamento da secagem do suco de yacon concentrado sem branqueamento a 40°Brix, empregando amido de milho como encapsulante, e da polpa de yacon. Os ensaios experimentais foram conduzidos em um secador de ar forçado, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C por um tempo de 5 horas. Foi observado que com o aumento da temperatura do ar de secagem diminuiu o tempo necessário para as amostras atingirem o equilíbrio. Os valores de umidade no equilíbrio foram de 0,0071; 0,0052 e 0,0050 para a polpa de yacon e de 0,0075; 0,0030 e 0,0030 para o suco encapsulado nas temperaturas de 50, 60 e 70°C respectivamente, resultando em valores de atividade de água menores que 0,25. O suco de yacon encapsulado e da polpa de yacon em pó obtidos a temperatura de 70°C foram visualizados em microscópio eletrônico de varredura. O pó de suco de yacon demonstrou um bom encapsulamento pelo amido de milho e na polpa de yacon em pó verificou-se a presença de estruturas microscópicas com formato alongado características do açúcar inulina. A temperatura de transição vítrea do suco encapsulado obtido à temperatura de 50, 60

e 70°C e da polpa de yacon em pó obtida à temperatura de 70°C foi determinada pela técnica de calorimetria diferencial de varredura. As temperaturas de transição vítrea para o pó de suco concentrado encapsulado foram de 44,74; 45,14 e 49,72°C para valores de atividade de água de 0,15; 0,07 e 0,03 respectivamente e para o pó da polpa de yacon foi de 48,78°C em atividade de água de 0,13.

Palavras-chave: Yacon, reologia, atividade de água, secagem, inulina, transição vítrea.

ABSTRACT

The *Smallanthus sonchifolius* also known as Yacon is a plant of Andean origin which stores the carbohydrates fructose, glucose, and mainly fructooligosaccharides and inulin. The fructooligosaccharides and the inulin have been designed as pre-biotic and alimentary fibers soluble for their no digestibility by enzymes from human digestive tract, selective stimulus of growth and activity of intestinal bacteria promoters of health. In this work, the yacon juice concentrated and the yacon pulp physicochemical properties were studied. The roots were peeled, cut and sliced in 0.5 ± 0.2 cm, bleached by steam for 4 minutes followed by ice bath for 3 minutes and later passed into fruit processor in order to extract the juice which was concentrated in a range from 10 to 50°Brix in a vacuum Rota-steam. The rheologic behavior, chemical composition and water activity and the initial freezing point of yacon juice according to the soluble solid concentration. A rotational viscosimeter was employed for the rheologic measures, the water activity measurements were carried out through the direct reading in an electronic measurer and the determination of the initial freezing point of juice was obtained from the freezing curves. The sugar content was quantified through HPLC. The results indicated that the inulin content remained constant, while the concentration of the reducer sugars glucose and fructose increased with the increase of the concentration. The yacon juice behaved as a Newtonian fluid, it was observed that the viscosity kept itself constant for each concentration independent from the applied deformation rate. For the juices with concentrations of 10, 15, 20, 25 and 30°Brix the viscosity values didn't present significant differences among themselves and for concentrations higher than 30°Brix, the viscosity increased significantly. In the case of the initial freezing point, this decreased as the yacon juice was concentrated. There weren't significant differences among the values which correspond to concentrations of 10° with 15°Brix, of 20° with 25°Brix and of 40° with 45°Brix. The water activity decreases significantly only in the concentration of 50°Brix. Next the behavior of the drying of the juice of yacon concentrated without bleaching at 40°Brix, using corn starch as encapsulant, and yacon pulp. The experimental essays were conducted in a forced air dryer, at the temperatures of 50, 60 and 70° C during 5 hours. It was observed that with the increasing of the drying air temperature, the period of time necessary for the samples reach the balance decreases. The moisture values in the balance were of 0.0071; 0.0052 and 0.0050 for the yacon pulp and of 0.0075; 0.0030 and 0.0030 for the encapsulated juice at temperatures of 50, 60 and 70° C respectively, resulting in values of water activity lower than 0.25. The yacon juice encapsulated and yacon pulp in powder obtained at a temperature of 70° C were visualized in the scanning electron microscope. The powder of yacon juice demonstrated a good encapsulation by corn starch. And in the powdered yacon pulp one verifies the presence of microscopic structures with elongated shape features of inulin sugar. The glass transition temperature of the encapsulated juice obtained at the temperature of 50, 60 and 70° C and of the yacon pulp in powder obtained at the temperature of 70° C was determined by the differential scanning calorimetry technique. The glass transition temperatures for the powder of encapsulated concentrated juice were of

44.74; 45.14 and 49.72° C for the values of water activity of 0.15; 0.07 and 0.03 respectively, and for the yacon pulp powder was of 48.78° C in water activity of 0.13.

Key words: Yacon, rheology, water activity, drying, inulin, glass transition.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 Estrutura química da inulina	19
Figura 2 Classificação geral dos fluídos	24
Figura 3 Reograma típico dos fluidos dependentes de tempo.....	25
Figura 4 Diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomoso para um material amorfo	28
Figura 5 Curvas Típicas de Secagem	30

CAPÍTULO 2

Figura 1 Tensão de Cisalhamento em função da Taxa de Deformação para o suco de yacon concentrado a 10, 15, 20, 25 e 30°Brix.....	46
Figura 2 Tensão de Cisalhamento em função da Taxa de Deformação para o suco de yacon concentrado a 35, 40, 45 e 50°Brix.....	46
Figura 3 Viscosidade em função da Taxa de Deformação para o suco de yacon concentrado a 10, 15, 20, 25 e 30°Brix	48
Figura 4 Viscosidade em função da Taxa de Deformação para o suco de yacon concentrado a 35, 40, 45 e 50°Brix	48
Figura 5 Viscosidade em função da concentração do suco de yacon	51
Figura 6 Curvas de congelação do suco de yacon a diferentes concentrações.....	52
Figura 7 Concentração em função do ponto de início de congelamento do suco de yacon.....	54
Figura 8 Curva de equilíbrio de congelamento para o suco de yacon.....	55

CAPÍTULO 3

Figura 1 Fluxograma do Procedimento Experimental para obtenção dos produtos em pó	68
Figura 2 Umidade em função do tempo de secagem a 50, 60 e 70°C do suco encapsulado de yacon	73

Figura 3 Umidade em função do tempo de secagem a 50, 60 e 70°C da polpa de yacon.....	74
Figura 4 Atividade de água em função do tempo de secagem a 50, 60 e 70°C do suco encapsulado de yacon.....	75
Figura 5 Atividade de água em função do tempo de secagem a 50, 60 e 70°C da polpa de yacon	76
Figura 6 Imagem microscópica do suco de yacon encapsulado a 70°C	80
Figura 7 Imagem microscópica da polpa de yacon desidratada a 70°C.....	82
Figura 8 Termogramas de Transição vítrea.....	84

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 Composição Química média do yacon em base úmida	16
Tabela 2 Composição Química média do yacon em base úmida	17
Tabela 3 Principais agentes encapsulantes usados para alimentos.....	32

CAPÍTULO 2

Tabela 1 Concentração açúcares no suco de yacon concentrado.....	44
Tabela 2 Parâmetros reológicos obtidos para o suco de yacon concentrado obtidos pelo ajuste de Newton e resultados experimentais	47
Tabela 3 Depressão do ponto de congelação e Ponto de início de congelamento para o suco de yacon concentrado	52

CAPÍTULO 3

Tabela 1 Umidades e atividades de água no equilíbrio do suco encapsulado e da polpa de yacon	77
Tabela 2 Concentração de açúcares no suco encapsulado e na polpa de yacon antes e depois da secagem na temperatura de 70°C	79
Tabela 3 Temperatura de Transição Vítreia do suco encapsulado em pó desidratado a 50, 60 e 70°C e da polpa de yacon em pó desidratada a 70°C.....	84

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 YACON (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	15
1.1.1 Composição	16
1.2 INULINA E FRUTOLIGOSSACARÍDEOS.....	17
1.2.1 Aplicações Tecnológicas	19
1.3 PREBIÓTICOS	21
1.4 REOLOGIA	22
1.4.1 Fluidos Newtonianos e Não Newtonianos.....	23
1.4.1.1 Fluidos Não Newtonianos independentes de tempo.....	24
1.4.1.2 Fluidos Não Newtonianos dependentes de tempo	25
1.5 ATIVIDADE DE ÁGUA.....	26
1.6 PONTO DE CONGELAMENTO.....	26
1.7 TRANSIÇÃO VÍTREA	27
1.8 SECAGEM.....	29
1.9 MICROENCAPSULAÇÃO	31
1.10 OBJETIVO GERAL.....	33
1.11 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
CAPÍTULO 2	34
ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO E DA ATIVIDADE DE ÁGUA DO SUCO DE YACON (<i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i>) CONCENTRADO	35
CAPÍTULO 3	61
CARACTERIZAÇÃO DO SUCO E DA POLPA EM PÓ DE YACON (<i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i>)	62
DISCUSSÃO GERAL	94
BIBLIOGRAFIA	99

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 YACON (*Smallanthus sonchifollius*)

O yacon é uma planta de origem andina, do gênero *Smallanthus*, pertencente à família *Asteraceae* ou *Compositae*, a planta é robusta e capaz de crescer sob condições quentes ou frias (ZARDINI, 1991). Suas raízes tuberosas são semelhantes a batatas doces em aparência, possuem gosto doce e polpa crocante, sendo bastante consumidas na forma “in natura”. Seu consumo foi negligenciado até meados dos anos 80, quando foram descobertas peculiaridades em sua composição química que poderiam ser benéficas à saúde humana (SANTANA e CARDOSO, 2008).

O cultivo econômico do yacon no Brasil começou após a década de 90, quando um agricultor brasileiro de origem japonesa introduziu a espécie no interior do estado de São Paulo, iniciando uma pequena indústria familiar, que abastecia comunidades japonesas, fornecendo raízes frescas, desidratadas e folhas secas para o preparo de chás medicinais para diabéticos.

Quando comparado com outras fontes tradicionais de frutanos como chicória, alcachofra-de-jerusalém ou dália, o yacon pode ser considerado como uma importante fonte de frutanos. As raízes tuberosas recém-colhidas são insípidas, mas, após uns 3 a 5 dias de exposição ao sol, ocorre uma reação de hidrólise dos frutanos, o que provoca o aumento do teor de frutose e sacarose livre, e as raízes tornam-se, então, suculentas e doces, por isso são muito apreciadas pela população local. Nesse processo as cascas ficam pregueadas pela desidratação (ZARDINI, 1991).

Quando destinada ao consumo “in natura”, a raiz deve ficar ao sol para que ocorra o incremento no sabor doce; entretanto, se destinada ao consumo por diabéticos ou para obtenção de inulina e frutooligossacarídeos, deve ser processada ou consumida rapidamente. Na forma de bebida, suco ou néctar, o yacon 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 que pode ser misturado ao suco de outras frutas ou vegetais e adoçados com açúcar ou com edulcorantes quando destinados ao consumo por diabéticos (SILVA, 2007).

1.1.1 Composição

O percentual de água das raízes situa-se em torno de 83 a 90% do peso fresco, e devido a isso, o valor energético da raiz é baixo. Este fator também reduz sua vida útil em condições ambientais, aproximadamente sete dias, visto que os tecidos internos das raízes se apresentam muito delicados, característica que os predispõem a sofrer rachaduras ou a romperem-se facilmente durante a colheita, a embalagem e o transporte (SANTANA e CARDOSO, 2008).

Moscatto et al. (2006) relatam que se trata de uma erva perene de talo piloso que possui estocado em suas raízes tuberosas os carboidratos frutose, glicose, sacarose e, principalmente frutooligossacarídeos de baixo grau de polimerização, que podem chegar a 67% da matéria seca logo após a colheita. Os frutooligossacarídeos do yacon são do tipo β (2 \rightarrow 1) com terminal sacarose, frutanas tipo inulina. Em termos gerais, os carboidratos representam cerca de 90% do peso seco das raízes recém-colhidas.

Conforme Lachman et al. (2003) a composição química média do yacon apresenta-se na Tabela 1 e 2.

Tabela 1. Composição Química média do yacon em base úmida.

Componentes	Composição (g/100g)
Água	81,3
Sacarídeos	13,8
Fibras	0,9
Proteínas	1,0
Lipídeos	0,1
Cinzas	1,1

Fonte: Lachman et al. (2003)

De acordo com Takenaka et al. (2003), as raízes de reserva do yacon possuem quantidades importantes de potássio, elevado conteúdo de cálcio, compostos fenólicos derivados de ácido caféico, substâncias antioxidantes como ácido clorogênico e triptofano, e várias fitoalexinas com atividade fungicida. Os conteúdos de lipídios, vitaminas e outros encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Composição Química média do yacon em base úmida.

<i>Componentes</i>	<i>Composição (mg/100g)</i>
Potássio	334
Fósforo	34
Cálcio	12
Magnésio	8,4
Sódio	0,4
Ferro	0,2
Vitamina B1	0,07
Vitamina B2	0,31
Vitamina C	5,0
β - caroteno	0,13
Polifenóis	203

Fonte: Lachman et al. (2003)

O yacon apresenta coloração de amarelo-clara à intensa, devido à presença de pigmentos carotenóides. A presença de compostos fenólicos como o ácido clorogênico e o L-triptofano tornam suas raízes susceptíveis ao escurecimento enzimático, causado pela enzima polifenoloxidase (PPO). Nessa reação ocorre a formação da melanina (pigmento escuro), que deprecia a qualidade do produto. O controle dessa reação pode ser feito pela inativação da enzima, pelo calor ou pelo uso de agentes redutores como o ácido ascórbico (YAN et al. 1999).

1.2 INULINA E FRUTOOLIGOSSACARÍDEOS

A inulina e os frutooligossacarídeos (FOS) estão presentes em muitas plantas comestíveis como a cebola, alho, aspargos, trigo, alhos franceses, chicória, banana, beterraba entre outros (VAN LOO et al., 1995). Para algumas das fontes como o alho e a cebola, as concentrações de inulina e frutooligossacarídeos estão entre 0,3 a 6% do peso fresco, podendo chegar a 10% para a barba de bode. Entretanto, para alcachofra de jerusalém, chicória, dália e yacon as concentrações de inulina e

frutooligossacarídeos podem chegar até 20% do peso fresco (HAULY e MOSCATTO, 2002).

Conforme Niness (1999), a inulina e os frutooligossacarídeos não têm uma composição química definida. Eles são uma mistura de frutanos de diferentes tamanhos, e a diferença entre eles está no número de moléculas de frutose que compõem essas cadeias. Os frutooligossacarídeos são definidos como polímeros de D-frutose, terminando com uma molécula de glicose, de forma que a inulina pode ser classificada como um frutooligossacarídeo (SILVA, 1996).

A inulina é um polissacarídeo natural de armazenamento não digerível constituído por uma longa cadeia de moléculas de frutose com uma molécula de glicose terminal (FLAMM et al., 2001). É obtida a partir das raízes de chicória por um processo de extração com água quente, seguido de purificação e cristalização. Inulina nativa é uma mistura de oligômeros e longas cadeias de polímeros com grau de polimerização das cadeias variando de 2 a 60 unidades e é comumente caracterizada pelo grau médio de polimerização de aproximadamente 12. Por hidólise parcial enzimática da inulina nativa são obtidas oligofrutoses com um grau de polimerização entre 2 e 7 unidades (FRANCK, 2002); alternativamente os oligômeros com grau de polimerização abaixo de 10 podem ser separados da inulina nativa por métodos físicos (ultrafiltração, cristalização) e inulina de cadeia longa com um grau médio de polimerização entre 22 e 25 é obtida (MOERMAN et al., 2004).

Quemener et al. (1997) mencionam que a inulina (Figura 1) é uma frutana polidispersa, constituída de uma mistura de polímeros e oligômeros superiores lineares de frutose. As unidades de β -Dfrutofuranosil são mantidas entre si por ligações do tipo β (2 \rightarrow 1), e possuem uma molécula de glicose em cada cadeia linear de frutose a qual é unida por uma ligação tipo (α 1- β 2), como na molécula de sacarose. Sua fórmula pode ser descrita como GF_n, onde G representa a molécula de glicose, F a molécula de frutose e n o número de unidades de frutose (ROBERFROID et al., 1993).

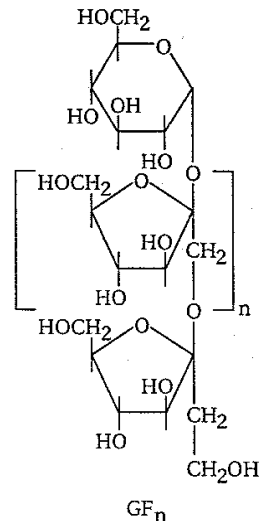


Figura 1. Estrutura química da inulina

Fonte: Roberfroid et al. (1993).

Silva (1996) relata que carboidratos como inulina podem ser obtidos através de fungos e bactérias. Entretanto, a fonte de inulina predominantemente usada comercialmente é baseada nos produtos vegetais. Segundo Yun (1996), as enzimas para a obtenção industrial de FOS são provenientes de plantas (aspargo, cebola, beterraba) ou de microrganismos (*Aspergillus sp*, *Aureobalidium sp*, *Fusarium sp*).

Sob o ponto de vista industrial, visando sua comercialização, os frutooligossacarídeos podem ser obtidos a partir da inulina ou reação enzimática de transfrutossilacção em resíduos de sacarose pela ação da enzima β -frutofuranosidase. No primeiro caso, efetua-se hidrólise enzimática controlada de moléculas de inulina com a enzima inulinase. (HARTEMINK et al., 1997). A adição de inulina em alimentos tem objetivo de aumentar a ingestão de fibras, em quantidades que oscilam de 3 a 6 gramas ou para assegurar a sua natureza bifidogênica acrescentando de 3 a 8 gramas por porção (COUSSEMENT, 1999).

1.2.1 Aplicações Tecnológicas

Inulina é um componente natural de muitas frutas e vegetais e é considerado, não como um aditivo, mas como um ingrediente alimentar seguro na maioria dos países (MILO, 2004). O grau de polimerização das cadeias oscila entre 2 e 60 unidades, com uma média de polimerização de cerca de 12 na inulina nativa. A inulina nativa sofre hidrólise parcial enzimática com endo-inulinase para obter

oligofrutoses, também chamadas de frutooligossacarídeos, com grau de polimerização oscilando entre 2 e 7, mas cuja valor média é 4 (FRACK, 2002).

Alguns estudos têm comparado os efeitos fisiológicos de inulinas com diferentes graus de polimerização. É evidente que, apesar de todos macronutrientes serem fermentados por bifidobactérias no cólon, a velocidade da fermentação depende do grau de polimerização. Oligômeros com grau de polimerização inferior a 10 fermentam no dobro da velocidade das moléculas de cadeia longa. Portanto, dependendo do comprimento da cadeia, a fermentação ocorre em diferentes regiões do cólon, a duração da atividade metabólica varia e há variações nos seus efeitos fisiológicos (ROBERFROID, 2005).

A aplicação da inulina na indústria alimentar, em primeiro lugar, foi restringida a produção de bebidas semelhantes ao café, pelo sabor forte e não muito doce deste polissacarídeo. No entanto, foi descoberto que a inulina poderia funcionar como um substituto de açúcar ou de gordura, tendo como vantagem seu baixo valor calórico (FIGUEIRA et al., 2004). Pode ser misturado a um grande número de produtos alimentares, que mantêm seu sabor intrínseco, sem alteração de textura. Além disso, inulina contribui para a formação de corpo e melhorar a aparência, Graças à sua capacidade de ligação da água, exibe propriedades de geleificação e espessamento (PARK et al., 2007).

De acordo com Tunglund e Meyer (2002), algumas propriedades tecnológicas são relatadas vinculadas ao grau de polimerização das cadeias de inulina, como um adoçante de baixo valor calórico, substituto de gordura ou agente de textura. A oligofrutose, muito mais solúvel, doce e com baixo teor calórico (1-2kcal/g) que a inulina nativa, pode ser usada para substituir parcialmente a sacarose em uma formulação ou substituí-la totalmente quando ela é combinada com outros adoçantes não calóricos. Inulina de cadeia longa, mais estável termicamente, menos solúvel e mais viscosa pode ser usada para estruturar alimentos com baixo teor de gordura. Sua estrutura se assemelha ao de uma rede de cristais de gordura (WADA et al., 2005; BOT et al., 2004; FRANCK, 2002), Esses microcristais formam uma mistura cremosa que dá a sensação de presença de gordura (NINESS, 1999).

A solubilidade da inulina varia em função da temperatura da água: a 10°C, a solubilidade é de 6%, ao passo que a 90°C, cresce para aproximadamente 35%, o que dificulta seu emprego à temperatura ambiente (SILVA, 1996). Os frutooligossacarídeos por sua vez, apresentam cadeias curtas e são altamente

higroscópicos, sua capacidade de retenção de água é superior à da sacarose e similar à do sorbitol; essas fibras alimentares são altamente estáveis, suportam pH acima de 3 e temperatura superior a 140°C, sua solubilidade em água atinge 80% a 25°C (BORNET, 1994).

Segundo Haully e Moscatto (2002) a inulina e os frutooligossacarídeos são utilizados para enriquecer com fibras produtos alimentares, pois, diferentemente de outras fibras, não tem sabores adicionais, mantendo a aparência e o gosto das formulações padrões. As suas propriedades nutricionais são similares, sendo que a decisão de formular com inulina ou oligofrutose se dá em função dos atributos desejados no produto final (NINESS, 1999)

1.3 PREBIÓTICOS

Conforme Saad (2006), os prebióticos são ingredientes não digeríveis incorporados aos alimentos com o objetivo de selecionar determinadas bactérias da microbiota intestinal, por meio de sua atuação, como um substrato seletivo do cólon estimulando seletivamente a proliferação ou atividade de populações de bactérias desejáveis deste local. Estes componentes atuam mais frequentemente no intestino grosso, embora eles possam ter algum impacto nos microrganismos do intestino delgado.

Como exemplo de substâncias prebióticas, podem ser citadas algumas como a lactulose, o lactitol, lactosacarose, rafinose, frutooligossacarídeos, e polissacarídeos como a inulina e o amido resistente (SILVA, 2007a). Os prebióticos não somente proporcionam aumento potencial do número de bactérias benéficas no intestino grosso de humanos, predominantemente os lactobacilos e as bifidobactérias, mas também aumentam sua atividade metabólica através do fornecimento de substrato fermentável (BIELECKA et al., 2002).

Os frutooligossacarídeos e a inulina têm sido designados como prebióticos e fibras alimentares solúveis por sua não digestibilidade pelas enzimas do trato digestivo humano, estímulo seletivo do crescimento e atividade de bactérias intestinais promotoras de saúde, especialmente as bifidobactérias, baixo valor calórico e a influência sobre a função intestinal e sobre os parâmetros lipídicos. (GIBSON e ROBERFROID, 1995).

Após a ingestão, a inulina por não ser hidrolisada não resulta em contribuição calórica neste processo, apenas em nível de cólon ocorre sua degradação por fermentação de bactérias. Quando a frutose está ligada, como nos frutooligossacarídeos, 40% são convertidos em biomassa bacteriana, 5% em CO₂, 40% em ácidos graxos de cadeia curta e 15% em lactato, e 90% destes metabólitos são absorvidos no sangue. O metabolismo destes compostos no fígado produz 14 mols de ATP, que é 35% do conteúdo calórico da frutose livre. Isto conduz a um valor calórico de 1,4 kcal/g (HAULY E MOSCATTO, 2002).

O equilíbrio produzido na flora gastrintestinal pelo consumo de frutooligossacarídeos estimula outros benefícios no metabolismo humano, como a redução da pressão sanguínea em pessoas hipertensas, alteração do metabolismo de ácidos gástricos, redução da absorção de carboidratos e lipídeos e melhoria do metabolismo de diabéticos. Ainda pode-se observar um aumento da digestão e metabolismo da lactose, aumento da síntese de vitaminas (principalmente do grupo B), diminuição do crescimento de bactérias nocivas, diminuição da produção de toxinas e compostos carcinogênicos e auxílio da restauração da flora intestinal normal durante terapia com antibióticos (YUN, 1996; PASSOS e PARK, 2003).

Conforme Figueira et al. (2004), devido a essas propriedades, indústrias de alimentos e farmacêuticos têm encontrado aplicação de inulina na produção de alimentos funcionais, nutricionais e de medicamentos.

1.4 REOLOGIA

A reologia pode ser definida como o estudo da deformação da matéria ou, ainda, o estudo da mobilidade dos fluídos (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

Os fluidos podem ser classificados como newtonianos e não newtonianos. Os primeiros são os que se comportam como fluídos ideais, isto é, os seus componentes não teriam qualquer interação entre si, enquanto os não newtonianos seriam os fluidos reais. Não existem naturalmente fluidos ideais, mas tão somente fluidos cujo comportamento se aproxima do ideal, como é o caso de líquidos puros, soluções diluídas e poucos sistemas coloidais (BOBBIO e BOBBIO, 2001). Eles são classificados dependendo da relação que apresentam entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada (TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

A operação fundamental em um teste reológico é aplicar uma força no material a ser investigado e medir sua deformação, ou, igualmente, aplicar uma deformação e medir a resistência. A medida da viscosidade é a medida da resistência ao movimento (deformação) das várias camadas paralelas de um fluido, movendo-se laminarmente com um gradiente de velocidade uniforme sob a ação de uma tensão deformante durante o movimento (TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Conforme os mesmos autores, na área de alimentos, o conhecimento do comportamento reológico tem várias aplicações como em projetos e avaliações de processos, controle de qualidade, correlação com avaliação sensorial, testes de vida de prateleira, entre outros. Os alimentos apresentam comportamento reológico variado, devido à sua complexa estrutura e composição

1.4.1 Fluidos Newtonianos e Não Newtonianos

Os fluidos newtonianos apresentam relação linear entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento.

De modo contrário aos fluidos newtonianos, os não-newtonianos apresentam relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, e podem apresentar dependência ou independência do tempo. Para Jiménez e Durán (1979) a reologia, ou consistência de líquidos newtonianos semelhantes à água, leite ou suco de frutas clarificados, pode ser simplesmente caracterizada pelo termo viscosidade, estando de acordo com Lewis (1993), que define viscosidade como a consequência dos atritos internos na massa dos fluidos, representando resistência ao escoamento. A classificação geral de fluidos é visualizada na Figura 2.

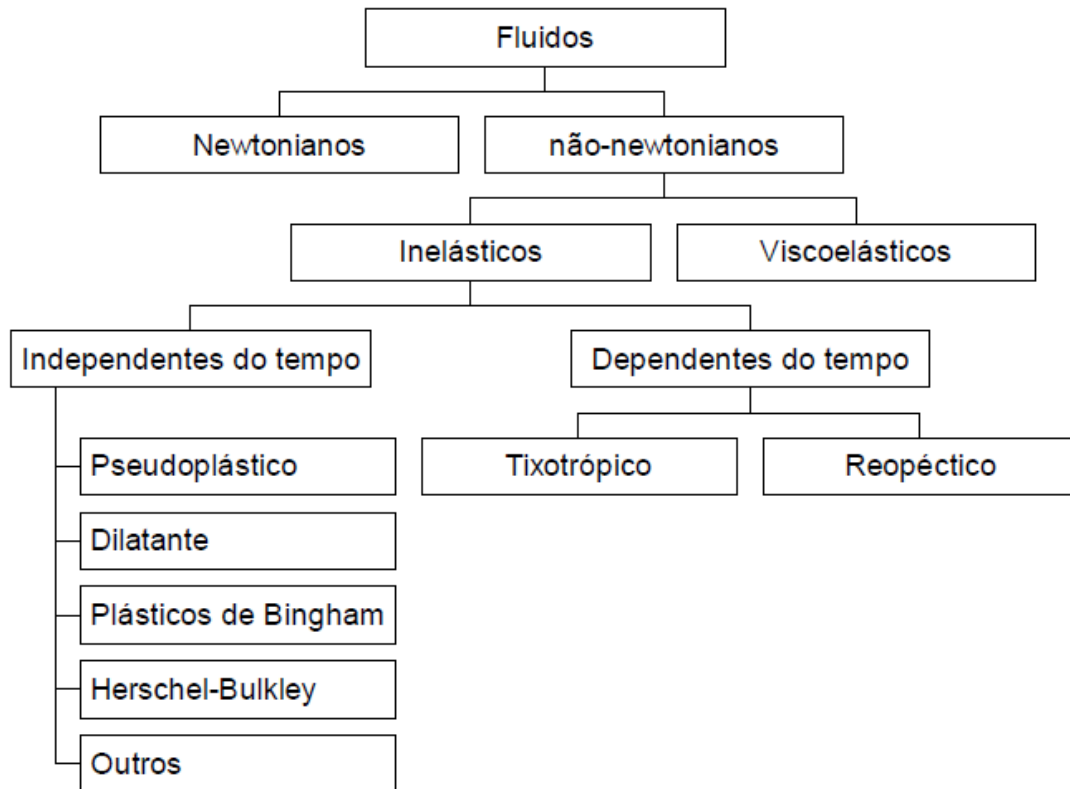


Figura 2. Classificação geral dos fluidos

Fonte: Toneli et al. (2005).

1.4.1.1 Fluidos não newtonianos independentes de tempo

Os fluidos pseudoplásticos representam a maior parte dos fluidos com comportamento não newtoniano. São aqueles que apresentam comportamento reológico independente do tempo, sem tensão residual, e que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais. Para esse tipo de fluido, observa-se um decréscimo na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. (VIDAL et al. 2000).

Os fluidos dilatantes caracterizam-se por apresentar um aumento na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação.

Os plásticos de Bingham caracterizam-se por apresentar uma tensão inicial, a partir da qual o fluido apresenta uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação.

1.4.1.2 Fluidos não newtonianos dependentes de tempo

Um indício do comportamento reológico dependente do tempo de um fluido é a observação da chamada curva de histerese. Conforme Toneli et al., (2005), para que seja possível verificar se o fluido apresenta ou não viscosidade aparente dependente do tempo, deve ser realizado um estudo reológico onde a substância em análise deve ser submetida a aumento na variação de tensão (ida) e, quando essa atingir um valor máximo, ser reduzida até retornar ao valor inicial (volta). Se a substância não apresenta comportamento reológico dependente do tempo, as curvas de tensão *versus* taxa de deformação obtidas (ida e volta) devem ser coincidentes. Entretanto, se a viscosidade aparente muda com o tempo, as curvas de ida e volta não seguem o mesmo caminho, formando uma histerese. As curvas típicas dos fluidos dependentes de tempo são ilustradas na Figura 3.

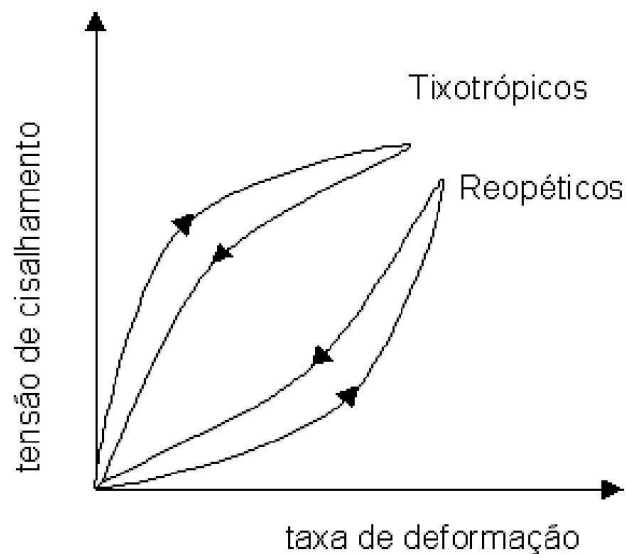


Figura 3. Reograma típico dos fluidos dependentes de tempo

Fonte: Lewis (1993)

Os fluidos tixotrópicos tem diminuição na viscosidade com o tempo de aplicação da tensão de cisalhamento, enquanto nos fluidos reopéticos a viscosidade aumenta com o tempo da aplicação da tensão (TONELI et al., 2005).

1.5 ATIVIDADE DE ÁGUA

O termo atividade de água indica a intensidade das forças que unem a água com outros componentes não-aquosos e, conseqüentemente, a água disponível para o crescimento de microrganismos e para que se possam realizar diferentes reações químicas e bioquímicas (ORDÓÑEZ et. al., 2005).

Quando se adiciona um soluto a água pura, as moléculas de água orientam-se na superfície do soluto e inter-relacionam-se com ele. Como conseqüência, diminui o ponto de congelamento, aumenta o ponto de ebulição e reduz a pressão de vapor, segundo a lei de Raoult, indicando que a diminuição relativa de pressão de vapor de um líquido ao dissolver-se em um soluto é igual à fração molar do solvente. A atividade de água define-se como a relação existente entre a pressão de vapor de água em uma solução ou em um alimento em relação a pressão de vapor da água pura a mesma temperatura.

Quando se define a atividade de água é necessário especificar a temperatura, já que os valores dependem desta. À medida que ela aumenta, o mesmo ocorre com atividade de água porque cresce a pressão de vapor. Quando um alimento se congela, vão se formando cristais de gelo praticamente puros, enquanto os solutos migram à fase líquida, na qual se concentram cada vez mais. Portanto, a atividade de água dos alimentos congelados, isto é, em presença de gelo, depende fundamentalmente da temperatura, não importando o tipo de solutos que estejam presentes. Ao contrário, nos alimentos não congelados, ela depende sobretudo da composição e em menor quantidade da temperatura (ORDÓÑEZ et. al., 2005).

1.6 PONTO DE CONGELAMENTO

Ponto de congelamento é uma das propriedades coligativas das soluções, sendo que seu conhecimento é importante na análise de congelamento e descongelamento de alimentos congelados (CHEN, 1985; SCHWARTZBERG, 1976). Dados precisos do ponto de congelamento também podem ser usados para calcular outras propriedades coligativas, como atividade de água, pressão osmótica, aumento do ponto de ebulição (CHEN, 1986) água ligada, livre e congelada (RAHMAN et al., 2002).

Conforme Becker e Fricke (1999), antes do congelamento, o calor sensível é removido para diminuir a temperatura do alimento até a temperatura inicial de congelamento, abaixo do ponto de congelamento da água pura, devido às substâncias dissolvidas nas soluções que formam o alimento.

As soluções, constituídas de soluto e solvente (normalmente água), têm sido utilizadas em experimentos para o esclarecimento do processo de congelamento. Na presença do soluto tem-se menos água disponível, diminuindo a mobilidade das moléculas de água devido à maior viscosidade da solução. O ponto de congelamento é menor, pois o soluto reduz a pressão do vapor de água, além de alterar as propriedades coligativas. Quando se inicia o congelamento, parte da água livre do alimento cristaliza-se, ocasionando a concentração da solução restante e diminuição de seu ponto de congelamento. Com o contínuo decréscimo da temperatura, aumenta a formação de cristais de gelo e, conseqüentemente, a concentração de solutos na solução restante ocasionando a diminuição do ponto de congelamento, sendo a quantidade de gelo e água durante o congelamento, portanto, dependentes da temperatura (BECKER e FRICKE, 1999).

A maioria dos alimentos contém grandes quantidades de água. Quando tais alimentos são resfriados abaixo de 0°C, a temperatura em que a água começa a se transformar em gelo é atingida. Ao contrário da água pura, toda a água do alimento não se altera para gelo na mesma temperatura, devido à presença de diferentes solutos. O ponto de congelamento inicial de um alimento é a mais alta temperatura em que o gelo pode existir nesse alimento em equilíbrio térmico (RIBERO et., 2007). Este é uma das mais importantes propriedades termodinâmicas necessárias para a previsão de propriedades térmicas e físicas de alimentos congelados (RAHMAN et al., 2002).

1.7 TRANSIÇÃO VÍTREA

Segundo Leite et al. (2005) a mudança de fase mais comum em alimentos é a transição vítrea, que consiste em uma transição de fase de segunda ordem de um estado sólido-vítreo para um estado semilíquido gomoso. A transição vítrea de um composto ocorre a certa temperatura, denominada temperatura de transição vítrea (T_g), que é variável com a composição do alimento, principalmente, com o teor de

água. O estado vítreo é o estado amorfo no qual a viscosidade é tão elevada que impede a cristalização do açúcar. Trata-se de estado pouco estável que pode ser alcançado por congelamento, concentração rápida ou desidratação de determinada solução, como também por fusão térmica de certos açúcares cristalinos seguida de resfriamento brusco, impedindo que as moléculas se reorganizem e formem cristais.

Conforme Ross e Karel (1991), a teoria da transição vítrea da ciência dos polímeros pode ajudar na compreensão das propriedades texturais de alimentos e explicar as alterações que ocorrem durante o processamento e a armazenagem, tais como a pegajosidade, o empelotamento, o amolecimento e o endurecimento.

A água é o plasticizante mais eficaz em matrizes de alimentos, diminuindo a temperatura de transição vítrea e a resistência mecânica e determinando um efeito de amolecimento com o aumento da sua concentração (PITTIA e SACCHETTI, 2008). Conforme Slade e Levine (1991), uma vez que a maior parte dos polímeros é termoplástica e sujeita a plastificação pela água, suas propriedades físicas são governadas pela temperatura e pela quantidade de água. A Figura 4 demonstra um diagrama da transição do estado vítreo para o estado gomoso.



Figura 4. Diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomoso para um material amorfo.

Fonte: Adaptado de Labuza et al., (2004) por Leite et al., (2005).

Observa-se que a transição do estado vítreo para o gomoso pode ocorrer, tanto pelo aumento da temperatura, como pelo aumento na concentração do plasticizante, no caso, a concentração de água. À temperatura de transição vítrea

ocorre uma mudança drástica no movimento local das cadeias de polímeros, resultando em inúmeras diferenças entre as propriedades dos estados vítreo e gomoso (LEITE et al., 2005). Quando um alimento é submetido a um ambiente de elevada umidade relativa e temperatura constante, ele absorve água, havendo aumento na concentração desse plasticizante. Com isso, ocorre redução na sua viscosidade e um conseqüente aumento na mobilidade molecular, dentre outras modificações. Em um material submetido a um aumento da temperatura acima da Tg, com umidade constante, observam-se várias alterações como: aumento de volume livre, decréscimo da viscosidade, aumento do calor específico e aumento da expansão térmica (WHITE e CAKEBREAD, 1966).

Os valores da temperatura de transição vítrea de compostos amorfos e alimentos são mais freqüentemente determinados pela técnica de calorimetria diferencial de varredura (DSC). O DSC é usado, portanto, para medir a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de uma amostra. Em essência, o DSC mede a mudança da entalpia com relação à temperatura (calor específico). Na temperatura de transição vítrea, apreciável mudança no calor específico é observada quando o material é transformado do estado vítreo imóvel para o estado gomoso de maior mobilidade (COLLARES e FINZER, 2002).

1.8 SECAGEM

A secagem é o método mais simples e de maior consumo de energia para processo de preservação de alimentos. Em particular, a secagem por ar é um processo antigo usado para conservar os alimentos, onde, o produto para ser seco é exposto em uma corrente de ar quente continuamente fluído onde a umidade evapora (RATTI, 2001). De acordo com Mayor e Sereno (2004), a desidratação é um dos processos mais comuns utilizados para melhorar a estabilidade dos alimentos. Os principais objetivos pelos quais a indústria alimentícia recorre à secagem podem ser resumidos nos seguintes pontos: aumentar o período de conservação dos alimentos através da inibição do crescimento de microrganismos, a atividade de algumas enzimas e determinadas reações químicas por redução da atividade de água; reduzir o peso e o volume dos alimentos facilitando os custos de armazenagem e transporte e em algumas situações a desidratação permite obter a

diversificação da oferta de produtos (ORDÓÑEZ et. al., 2005) assim como, permite também a obtenção de novos produtos aos consumidores.

Segundo Sharma (2000) citado por Moura (2004), o processo de secagem, pode ser dividido em três períodos (Figura 5). O primeiro período representa o início da secagem onde ocorre elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Essas elevações prosseguem até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água). O segundo período caracteriza-se pela taxa constante de secagem, a água evaporada é a água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a taxa de secagem é constante. No terceiro período, a taxa de secagem é decrescente; a quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo pode ser encerrado.

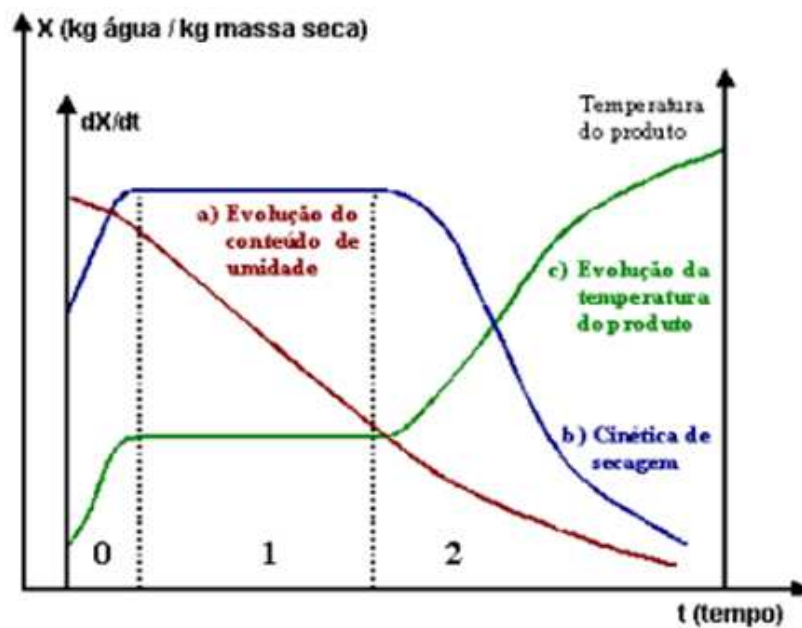


Figura 5. Curvas típicas de secagem

Fonte: Park et al. (2001).

1.9 MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação na indústria de alimentos é definida como uma tecnologia de revestimento, através da qual pequenas gotas de um líquido ou partículas sólidas são revestidas por cápsulas (AZEREDO, 2005), as quais têm a função de proteger o material encapsulado de fatores que possam vir a causar a sua deterioração, tais como oxigênio, luz ou umidade (ROSENBERG et al., 1990). O material encapsulado é denominado de recheio ou núcleo, e o material que forma a cápsula, agente encapsulante, cobertura parede (GIBBS et al., 1999), casca ou ainda matriz encapsulante (JACKSON e LEE, 1991).

Segundo Jackson e Lee (1991), os propósitos gerais da microencapsulação podem transformar um líquido em sólido, de modo a facilitar sua manipulação, transporte e adição em formulações; separar materiais reativos; reduzir toxicidade do material ativo; promover liberação controlada do ativo encapsulado; reduzir volatilidade de líquidos; mascarar sabor e odor de determinados componentes; aumentar a vida de prateleira; e proteger contra a luz, umidade e calor.

O passo inicial para a encapsulação de ingredientes alimentícios é a seleção de um material de cobertura adequado. A escolha do agente encapsulante depende de uma série de fatores, entre eles a não reatividade com o material a ser encapsulado, o processo utilizado para a formação da microcápsula e o mecanismo de liberação ideal (FAVARO-TRINDADE, 2008). Brazel (1999) ressalta ainda que se deve levar em consideração, as propriedades físicas e químicas do núcleo (porosidade, solubilidade) e da parede (viscosidade, propriedades mecânicas, transição vítrea, capacidade de formação de filme) e fatores econômicos. Os principais encapsulantes geralmente empregados na indústria de alimentos encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Principais agentes encapsulantes usados para alimentos

Classe	Encapsulante
Gomas	Goma arábica, alginato de sódio e carragena
Carboidratos	Amido, dextrina, xarope de milho
Lipídeos	Cera, parafina, triestearina, ácido esteárico, mono e diglicerídios, óleos, gorduras
Celulose	Carboximetilcelulose, metil e etil celulose, acetil celulose, nitrocelulose
Proteínas	Glúten, caseína, gelatina e albumina

Fonte: Jackson e Lee (1991)

Os carboidratos são os materiais mais utilizados para encapsulação, graças à sua capacidade de se ligar a compostos de sabor, além de sua diversidade e baixo custo (DZIEZAK, 1988). O amido é um material abundante e barato; em seu estado nativo, o amido, em forma de grânulos, é insolúvel em água fria. Entretanto, quando uma dispersão aquosa de amido sofre aquecimento suficiente para romper os grânulos, forma-se uma pasta capaz de produzir filmes de boas propriedades mecânicas (REINECCIUS, 1991).

Segundo Ré (1998), a escolha do método de encapsulação para uma aplicação específica depende de uma série de fatores, como: tamanho de partículas requerido, propriedades físicas e químicas do núcleo e da parede, aplicação do produto final, mecanismos desejados de liberação, escala de produção e custo. Vários métodos podem ser utilizados para encapsulação destacando-se atomização, leite fluidizado, extrusão, coacervação, secagem em tambor, inclusão molecular entre outros (AZEREDO, 2005).

1.10 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visou estudar propriedades físicas e químicas do suco concentrado de yacon na faixa de 10 a 50°Brix e a desidratação do suco, empregando amido nativo de milho como agente encapsulante e da polpa de yacon (*Smallanthus sonchifollius*).

1.11 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar o comportamento reológico, atividade de água, composição de açúcares e o ponto de início de congelamento do suco de yacon nas concentrações de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50°Brix.

Estudar o comportamento de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C do suco empregando amido nativo de milho como agente encapsulante e da polpa de yacon para produção destes produtos em pó.

Estudar a temperatura de transição vítrea do suco encapsulado em pó obtido através de secagem a 50, 60 e 70°C e da polpa de yacon em pó obtida a 70°C.

Estudar a microestrutura do suco encapsulado e da polpa de yacon em pó obtidos através da secagem a 70°C.

Para execução e cumprimento dos objetivos gerais e específicos deste trabalho de dissertação foram apresentados os resultados obtidos na forma de dois artigos científicos. Apresenta-se, também, uma discussão geral ao final do trabalho onde se retoma de forma resumida os resultados obtidos nos dois artigos.

CAPÍTULO 2

Estudo do Comportamento Reológico, Atividade de Água e Ponto de Início de congelamento do Suco de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Concentrado

Artigo a ser submetido para publicação na revista Brazilian Journal of Food Technology e formatado de acordo com as normas desta revista.

Estudo do Comportamento Reológico, Atividade de Água e Ponto de Início de congelamento do Suco de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Concentrado

Camila Carvalho Lago, Anahi Bernstein,

Adriano Brandelli e Caciano Zapata Noreña,

Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio

Grande do Sul. Porto Alegre – RS, Brasil.

RESUMO: Foi estudado o comportamento reológico, a atividade de água e o ponto de início de congelamento do suco de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) em função da concentração de sólidos solúveis na faixa de 10 a 50° Brix. Para as medidas reológicas foi empregado um viscosímetro rotacional, as medidas da atividade de água foram realizadas através de leitura direta em medidor eletrônico e a determinação do ponto de início de congelamento dos sucos foi obtida a partir das curvas de congelamento. Os resultados indicaram que o suco de yacon comportou-se como um fluido newtoniano, observando-se que a viscosidade manteve-se constante para cada concentração. O ponto de início congelamento diminuiu à medida que o suco de yacon foi concentrado. A atividade de água diminuiu significativamente apenas na concentração de 50°Brix. Também foram determinadas as concentrações dos principais açúcares no suco do yacon: frutose, glicose e inulina.

Palavras-chave: yacon; suco concentrado; fluido newtoniano; atividade de água; ponto de início de congelamento.

1 INTRODUÇÃO

O yacon é uma planta de origem andina, do gênero *Smallanthus*, pertencente à família *Asteraceae* ou *Compositae*, a planta é robusta e capaz de crescer sob condições quentes ou frias (ZARDINI, 1991). Suas raízes tuberosas são semelhantes a batatas doces em aparência, possuem gosto doce e polpa crocante, sendo bastante consumidas na forma “in natura”. O percentual de água das raízes situa-se em torno de 83 a 90% do peso fresco, e devido a isso, o valor energético da raiz é baixo (SANTANA e CARDOSO, 2008).

Moscatto et al. (2006) relatam que se trata de uma erva perene com estoque em suas raízes tuberosas dos carboidratos frutose, glicose, sacarose e, principalmente frutooligossacarídeos de baixo grau de polimerização do tipo inulina. Os frutooligossacarídeos (FOS) e a inulina têm sido designados como prebióticos e fibras alimentares solúveis por sua não digestibilidade pelas enzimas do trato digestivo humano, estímulo seletivo do crescimento e atividade de bactérias intestinais promotoras de saúde, especialmente as bifidobactérias, baixo valor calórico e a influência sobre a função intestinal e sobre os parâmetros lipídicos (GIBSON e ROBERFROID, 1995).

A produção de suco concentrado oferece importantes vantagens; ele pode ser usado como ingrediente em muitos produtos como sorvetes, xaropes de frutas, geléias e bebidas carbonatadas (GINCR et al., 1996). O conhecimento do comportamento reológico de alimentos fluídos é essencial para o projeto de equipamentos de processamento de alimentos, além de ser um parâmetro de grande importância para controle de qualidade e aceitabilidade dos consumidores (LEITE et al., 2004). O comportamento reológico de sucos é amplamente

influenciado pela sua composição qualitativa e quantitativa, no entanto depende do tipo de fruta e dos tratamentos em que o suco é submetido durante o processo (VANDRESEN et al., 2009).

Os fluidos podem ser divididos em newtonianos e não newtonianos. Os newtonianos apresentam relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, sendo a viscosidade constante. Os fluídos não newtonianos dividem-se em dependentes de tempo (reopéticos e tixotrópicos) e independentes de tempo (pseudoplásticos, dilatantes, plásticos Bingham e Herschel-Bulkley) onde a viscosidade varia com o aumento da taxa de deformação.

Propriedades reológicas de sucos e polpas de frutas têm sido reportadas em muitas publicações como em suco de uva (ZURITZ et al. 2005), suco de manga (DAK et al., 2007), suco de caju (BONOMO et al., 2009; AZOUBEL et al. 2005), suco de abacaxi (SHAMSUDIN et al., 2009), polpa de acerola (BALISCHI et al., 2002), polpa de manga (VIDAL et al., 2004) entre outros.

A reologia da inulina pura, com adição de encapsulantes e em combinação com outros ingredientes vem sendo discutida por diversos autores. O precipitado de inulina obtido a partir de refrigeração ou congelamento nas temperaturas de -8, -11 e -15°C de extrato concentrado de raízes de chicória apresentou comportamento reológico de fluido pseudoplástico segundo o modelo Lei da Potência (LEITE, 2001) resultado também demonstrado por Nogueira (2002) em estudo do comportamento reológico de suspensões preparadas a partir do extrato líquido de inulina das raízes de chicória. Tonelli et al. (2008) ao estudar o extrato de inulina puro e com adição de agentes encapsulantes obtido das raízes de chicória demonstrou o comportamento não newtoniano de fluido pseudoplástico onde o modelo de Lei da Potência foi o mais adequado para ajuste dos dados experimentais. Géis puros de inulina em

água com concentrações inferiores a 20% apresentaram comportamento newtoniano (ZIMERI e KOKINI, 2003). Os mesmos autores estudaram as propriedades reológicas de sistemas mistos de inulina e amido de milho ceroso como um modelo de interação entre carboidratos em alimentos onde todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico, sendo que as misturas com elevadas quantidades de inulina (30 e 40%) mostram uma tensão residual caracterizada pelos ajustes dos dados experimentais pelo modelo de Herschel-Bulkley.

Concentração e congelamento são duas importantes operações no processamento de sucos. O conhecimento da depressão do ponto de congelamento em diferentes concentrações é necessário para o cálculo do requerimento de refrigeração e para análise do processo de congelamento ou descongelamento de alimentos (CHEN et al., 1990).

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento reológico, a depressão do ponto do congelamento e a atividade de água do suco de yacon às concentrações de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50°Brix.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matéria prima

Os tubérculos de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) provenientes do estado de São Paulo foram adquiridos na Central de Abastecimento do Rio Grande do Sul (Ceasa) em Porto Alegre. Os frutos foram limpos, selecionados considerando a ausência de injúrias visuais e infecções e armazenados à temperatura de refrigeração ($8^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$) até o momento do uso.

2.2 Procedimento Experimental

As raízes de yacon foram descascadas, cortadas em rodela de $0,5 \pm 0,2$ cm de espessura e submetidas ao branqueamento mediante vapor a 100°C por 4 minutos, seguido pelo resfriamento em banho de gelo durante 3 minutos, de acordo com a metodologia proposta por Scher et al. (2009). A partir das fatias branqueadas foi extraído o suco empregando um processador de frutas. A seguir o suco foi filtrado a vácuo empregando papel filtro Whatman n. 01.

O processo de concentração foi realizado utilizando-se um rotavapor marca Laborota 4000, sob vácuo de 600mmHg, empregando um banho termostatizado de água a 80°C e rotação de 60rpm. As concentrações obtidas foram de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50°Brix , medidas através de refratômetro de bancada (Atago, NAR T3, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan) a 20°C , conforme o método n°932.12 da A.O.A.C (2000).

As soluções concentradas foram acondicionadas em béqueres e congeladas na temperatura de -18°C até o momento das análises.

2.3 Medidas reológicas

As medidas reológicas foram realizadas em um viscosímetro rotacional, à temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, marca Brookfield, modelo LV-II conectado a um sistema computadorizado de aquisição de dados (Rheocal V.3.1-1) para registrar a tensão de cisalhamento (Pa), a taxa de deformação (s^{-1}) e a viscosidade aparente (Pa.s). O *spindle* utilizado foi o ULA-EY UL Adapter, com taxas de deformação variando de 0 a 110 s^{-1} , sendo que essa faixa de valores foi escolhida de acordo com as

características de cada amostra, obedecendo aos valores do torque permitido pelo equipamento, os quais devem ficar entre 10 e 90%. As medidas, a cada dez segundos, foram realizadas de ida e volta, em duplicata.

Os dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação foram ajustados aos modelos de Newton, Bingham, Ostwald-de-Waele (pseudoplásticos e dilatantes) e Herschel-Bulkley, empregando o software Origin 5.0.

2.4 Determinação de Açúcares por HPLC

Para análise do conteúdo de açúcares, as amostras de suco concentrado de yacon foram inicialmente filtradas em papel filtro Whatman n. 01, passadas em membrana de 22 μ m e posteriormente em cartucho tipo C-18 (Sep-pak, Waters). Os filtrados foram congelados e armazenados à temperatura de -18°C. Para as análises, as amostras congeladas foram pré-aquecidas a 80°C e colocadas em banho de ultra-som da marca Thorton por 4 minutos para posterior injeção em HPLC.

As análises dos conteúdos de inulina, glicose e frutose no suco foram realizadas adaptando-se o método descrito por Zuleta e Sambucetti (2001) para determinação direta pelo método de cromatografia líquida de alta eficiência com detecção de índice refração (HPLC-RI), utilizando cromatógrafo marca Perkin Elmer série 200, com detector de índice de refração, água (Mili-Q) como fase móvel a 0,6 mL/min, temperatura 80°C e coluna da Rezex RHM Monosaccharide da marca Phenomenex, 300 x 7,8 mm. Com um tempo total de corrida de 13 minutos. As

análises foram realizadas nos sucos concentrados em duplicata para cada concentração estudada.

2.5 Determinação do Ponto de Início Congelamento

O suco de yacon foi colocado em um béquer de vidro de 100mL fechado com tampa de isopor, onde foi inserido o termopar (tipo pt 100, de 3 mm de diâmetro) no centro geométrico da amostra. Esse conjunto foi colocado dentro de um congelador com temperatura constante de -20 ± 2 C.

As temperaturas das amostras foram registradas em intervalos de 40 segundos de 3 a 5 horas, dependendo da amostra estudada, utilizando-se um registrador Data Logger, Marca NOVUS, de 8 canais.

Os dados foram armazenados em uma planilha Excel (versão 97) para posteriormente elaborar as curvas de congelação. A extrapolação do *plateau* de temperatura com a curva de resfriamento foi usada para obter o ponto de início de congelamento de acordo com metodologia empregada por Ribero et al. (2007).

2.6 Atividade de Água

Os valores experimentais de atividade de água foram obtidos através de leitura direta em medidor eletrônico (Aqualab 3TE-Decagon, Pullman, USA) método n. 978.18 (AOAC, 1990).

As medições foram realizadas em duplicata para cada concentração do suco através de desenho completo aleatório.

As análises estatísticas foram realizadas usando os programas SAS 9.1 para comparação de médias (Teste de Tukey) e software Origin 5.0 para as análises de regressão e cálculo dos parâmetros dos modelos reológicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação de açúcares e atividade de água

A viscosidade de sucos é um dos parâmetros mais importantes no que diz respeito ao seu comportamento de fluxo e desempenho do processo. Um dos parâmetros que afeta a magnitude da viscosidade é o teor de açúcar dos sucos (RAO, 1999 citado por SHAMSUDIN et al., 2009). O mesmo ocorre com a atividade de água e o ponto de início de congelamento.

Os teores de açúcares em base seca no yacon “in natura” foram de 2,65% para a inulina, 30,75% para a glicose e 50,37% para a frutose. O teor inicial de inulina no yacon in natura foi próximo do encontrado por Cazetta et al. (2005) que foi de 3-10% de inulina nas raízes de yacon. Cabello (2005) obteve valores na matéria fresca de 48,3% para frutose e 24,9% para glicose. A variação na quantidade de frutanos e açúcares redutores na planta dependem do lugar de plantio, da época de colheita, sendo que a quantidade máxima de frutanos é encontrada após 7 a 8 meses de plantio (VILHENA et al. 2001).

Quando o yacon foi submetido ao branqueamento em vapor os teores de açúcares diminuíram para 1,37% de inulina, 17,83% para glicose e 41,62% para a frutose. Isso pode ser explicado, devido ao yacon entrar em contato direto com o vapor havendo solubilização e perda na concentração destes componentes.

Mukherjee e Chattopadhyay (2007) em estudo do branqueamento em batatas verificaram que os índices de açúcares redutores diminuíram cerca de 40%.

O suco de yacon branqueado, despulpado e filtrado apresentou teor de sólidos solúveis de 8°Brix, 0,59% de inulina, 7,7% de glicose e 13,56% de frutose em base seca. Esses valores são significativamente menores quando comparados com os teores de açúcares no yacon branqueado indicando que partes destes componentes ficaram retidos na polpa.

A inulina é solúvel em água, com solubilidade dependente da temperatura: na temperatura de 10°C, a solubilidade é de 6%, ao passo que a 90°C, cresce para aproximadamente 35% (SILVA, 1996). Kim et al. (2001) relataram que a 25°C a inulina é quase insolúvel em água, mas sua solubilidade aumenta significativamente com o aumento da temperatura. Essa propriedade pode explicar o baixo teor de inulina nas amostras extraídas, uma vez que o processo de extração foi realizado a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C). Durante a extração do suco, a polpa (sólidos insolúveis) foi separada por filtração do extrato líquido utilizado para as análises do presente estudo, podendo a inulina não ter sido solubilizada e ficado retido na polpa.

A composição do suco em termos de açúcares nas diferentes concentrações estudadas aparece na Tabela 1. Nela se observa que o teor de inulina manteve-se praticamente constante à medida que o suco foi sendo concentrado; de acordo com o teste de Tukey os valores de inulina não apresentam diferenças significativas entre as concentrações de 15 a 50° Brix ($p > 0,05$). O teor de glicose teve aumento de 7,8 a 22,8%, sendo significativo esse aumento a partir da concentração de 20°Brix. A frutose variou de 16,42 a 58,57%, no entanto, nas concentrações de 25, 30 e 35°Brix os valores deste açúcar não foram estatisticamente diferentes, bem como no suco

com 45 e 50°Brix ($p>0,05$). Os maiores teores tanto de glicose como de frutose foram obtidos a 50° Brix, porém este resultado não foi significativamente diferente do suco de yacon a 45°Brix ($p>0,05$).

Tabela 1. Concentração açúcares no suco de yacon concentrado

°Brix	Aw	Inulina (%)	Glicose (%)	Frutose (%)
10	0,99 ^a	0,51±0,03 ^a	7,80±0,74 ^a	16,42±0,05 ^a
15	0,99 ^a	1,24±0,16 ^b	8,67±0,72 ^a	27,04±1,21 ^b
20	0,98 ^a	1,45±0,01 ^b	11,86±0,85 ^b	33,28±0,43 ^c
25	0,98 ^a	1,57±0,15 ^b	18,19±0,07 ^c	40,58±0,52 ^d
30	0,97 ^a	1,22±0,06 ^b	17,99±1,04 ^c	41,09±0,17 ^d
35	0,97 ^a	1,26±0,06 ^b	19,98±0,47 ^{cd}	42,84±0,83 ^d
40	0,95 ^a	1,19±0,20 ^b	19,77±0,35 ^{cd}	50,87±1,40 ^e
45	0,95 ^a	1,22±0,05 ^b	22,09±0,08 ^{de}	58,05±0,38 ^f
50	0,93 ^b	1,35±0,14 ^b	22,81±0,44 ^e	58,57±0,45 ^f

Valores expressos da Média ± Desvio Padrão da Média. Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% de significância.

O teor de inulina não aumentou com a concentração do suco como os outros açúcares, podendo estar indicando que este polissacarídeo esteja sendo degradado em açúcares simples durante o processo, já que os teores de glicose e frutose aumentam significativamente. Scher (2009a) em estudo de secagem de yacon verificou que mesmo após branqueamento as enzimas não foram totalmente inativadas. Manrique et al. (2005) mencionam que à temperatura ambiente, as raízes de yacon colhidas rapidamente convertem os FOS em açúcares simples, uma semana após a colheita o conteúdo de FOS nas raízes pode ser reduzido de 30-40%, e essa é a razão de se realizar o branqueamento.

O teor de glicose e frutose no suco de yacon aumentou significativamente à medida que o suco foi sendo concentrado. Em estudo de suco concentrado de uva por evaporação, os açúcares redutores aumentaram de 21,60 a 66,25% para as concentrações de 22,9 e 70,6°Brix respectivamente (ZURITZ et al., 2005). De acordo com Branco e Gaspareto (2003) o alto teor de açúcares redutores encontrados no suco concentrado pode ser explicado devido à retirada de no mínimo 50% de água durante o processamento. Em estudo do hidrolisado de eucalipto em diferentes concentrações utilizando evaporação à vácuo foi observado que a concentração dos açúcares xilose, arabinose e glicose aumentaram proporcionalmente com a concentração de sólidos solúveis (CARVALHO et al., 2005).

A atividade de água do suco de yacon diminuiu com o aumento da concentração como já verificado em estudo de polpa de acerola concentrada (DINIZ et al., 2003) e sucos concentrados de frutas (MOURA, 1998). Os valores de atividade de água foram de 0,99 no suco com menor concentração (10°Brix), diminuindo até 0,93 para o suco mais concentrado, porém este decréscimo só foi significado na concentração de 50°Brix.

3.2 Comportamento reológico

As Figuras 1 e 2 mostram as curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, obtidas a diferentes concentrações. Nela se observam que as curvas ascendentes e descendentes em cada uma das amostras se encontram sobrepostas, verificando-se a não existência do efeito de histerese entre as curvas de ida (crescente) e de volta (decrecente). Estes resultados indicam que os fluídos apresentam comportamento reológico independente de tempo, não apresentando

tixotropia. Sucos concentrados de manga de diferentes variedades (DAK et al., 2006; DAK et al., 2007), polpa de cupuaçu (CABRAL et. al., 2002) suco de cajá (ASSIS et al., 2006), suco de amora (CABRAL et al., 2007) são exemplos de fluidos independentes de tempo.

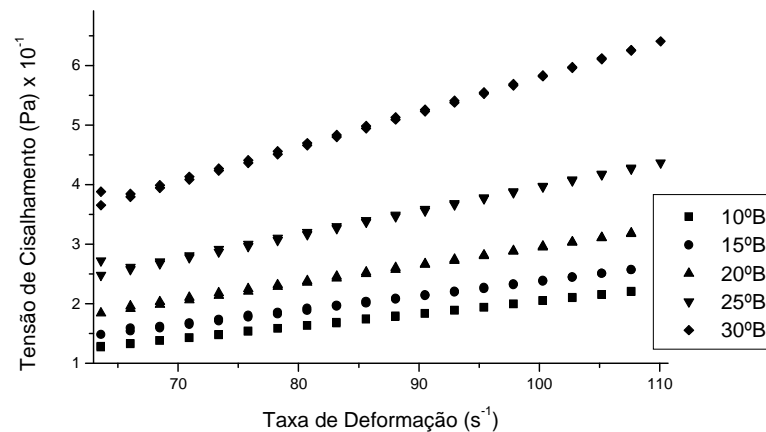


Figura 1. Tensão de Cisalhamento em função da Taxa de Deformação para o suco de yacon concentrado a 10, 15, 20, 25 e 30°Brix.

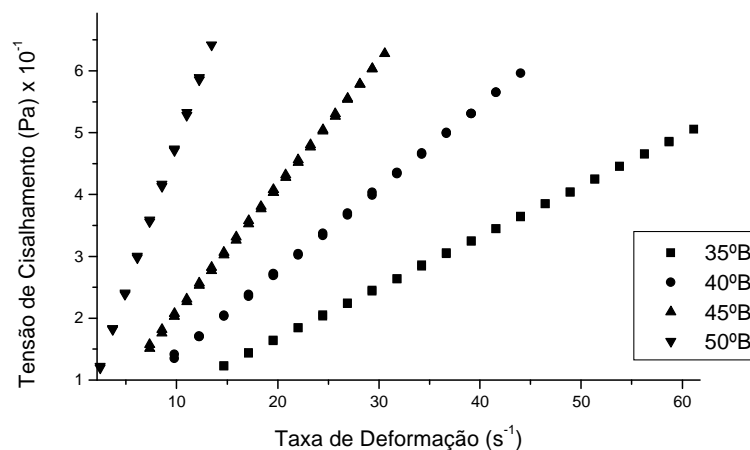


Figura 2. Tensão de Cisalhamento em função da Taxa de Deformação para o suco de yacon concentrado a 35, 40, 45 e 50°Brix.

Nas Figuras 1 e 2 também se observa que a tensão de cisalhamento aumenta linearmente com a taxa de deformação em todas as concentrações. Os dados experimentais foram fixados aos modelos de Bingham, Ostwald-de-Waele

(pseudoplásticos e dilatantes) e Herschel-Bulkley, no entanto, o modelo de Newton fixou corretamente os dados, obtendo-se valores de r^2 de 0,999 (Tabela 2), indicando que estes sucos se comportam como fluidos Newtonianos.

Tabela 2. Parâmetros reológicos obtidos para o suco de yacon concentrado obtidos pelo ajuste de Newton e resultados experimentais

Modelo de Newton			
$\tau = \mu\dot{\gamma}$			
Parâmetros			Experimental
(°Brix)	μ (Pa·s)	R^2	μ (Pa·s)
10	0,00198 ^a	0,9994	0,00198±0,00007
15	0,00237 ^a	0,9993	0,00237±0,00001
20	0,00294 ^a	0,9996	0,00294±0,00001
25	0,00393 ^a	0,9997	0,00393±0,00001
30	0,00576 ^{ab}	0,9994	0,00576±0,00005
35	0,00826 ^b	0,9999	0,00829±0,00003
40	0,01263 ^c	0,9997	0,01268±0,00146
45	0,02150 ^d	0,9998	0,02157±0,00124
50	0,05006 ^e	0,9995	0,05006±0,00268

Valores expressos da Média ± Desvio Padrão da Média. Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% de significância.

Nas Figuras 3 e 4, se confirma o comportamento newtoniano do fluido na qual a viscosidade não muda com a taxa de deformação. Os valores de viscosidade obtidos experimentalmente para o suco de yacon são mostrados também na Tabela 2; ao comparar estes dados com os valores da análise de regressão verifica-se que não existem diferenças significativas entre eles.

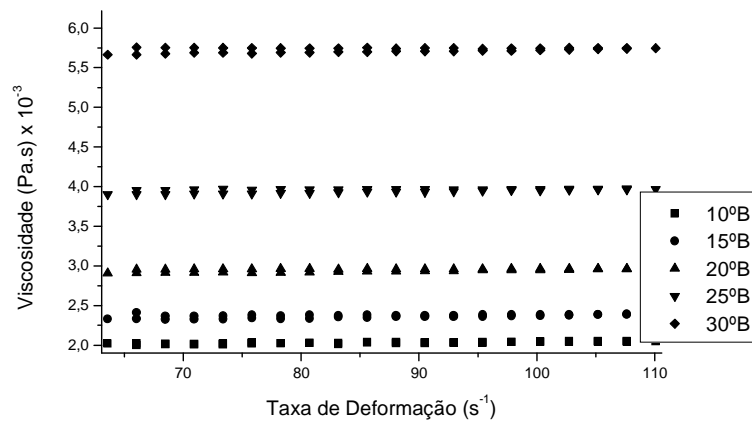


Figura 3. Viscosidade em função da Taxa de Deformação para o suco de yacon concentrado a 10, 15, 20, 25 e 30°Brix.

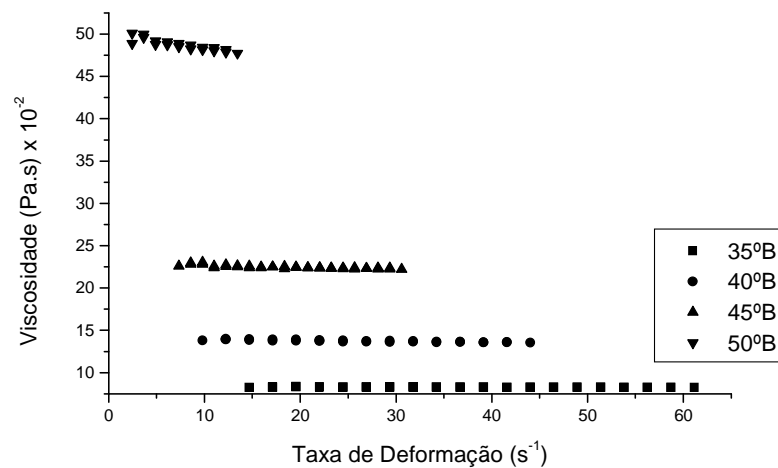


Figura 4. Viscosidade em função da Taxa de Deformação para o suco de yacon concentrado a 35, 40, 45 e 50°Brix.

Na Tabela 2 observa-se que a viscosidade aumentou com o aumento da concentração, mas nas amostras de 10, 15, 20, 25 e 30°Brix seus valores de viscosidade não diferem entre si ($p > 0,05$), no entanto para as concentrações maiores que 30°Brix, a viscosidade aumentou significativamente sendo que, a 50°Brix a viscosidade atingiu o valor de 0,05006Pa.s. A concentração do suco afetou diretamente a viscosidade; o aumento é consequência da menor quantidade de água no meio. O aumento da viscosidade com a concentração concorda com estudo de Azoubel et al. (2005) onde os autores verificaram que as propriedades físicas do suco de caju dependiam diretamente da concentração, com a viscosidade aumentando à medida que aumentava o conteúdo de sólidos solúveis.

Tririfó et al. (1987) citado por Balischi et al. (2002) afirmam que sucos e purês são considerados sob o ponto de vista reológico, como fluidos pseudoplásticos, e o afastamento do comportamento newtoniano é determinado pelo conteúdo de polpa do produto, acrescentando que sucos despulpados, ou com pouca polpa se comportam como newtoniano. O yacon apresenta 8% de polpa (sólidos insolúveis) e grande parte dela foi eliminada durante a filtração, justificando que o suco concentrado estudado apresentou-se como um fluido newtoniano por ser um suco despulpado, também pode contribuir neste comportamento o tipo de inulina presente no yacon, segundo Moscatto et al. (2006), principalmente frutooligossacarídeos de baixo grau de polimerização. Para Jiménez e Durán (1979) a reologia, ou consistência de líquidos newtonianos semelhantes à água, leite ou suco de frutas clarificadas, pode ser simplesmente caracterizada pelo termo viscosidade, estando de acordo com Lewis (1993), que define viscosidade como a consequência dos atritos internos na massa dos fluidos, representando resistência ao escoamento.

Shamsudin et al. (2009) estudaram o comportamento reológico do suco de abacaxi em vários estágios de maturidade, em uma faixa de temperatura (5-65°C) e concentração (4-14°Brix). Os resultados demonstraram o suco como um fluido newtoniano e que as três variáveis estudadas influenciaram neste comportamento. Zuritz et al. (2005) avaliaram o comportamento reológico de suco de uva clarificado concentrado em evaporador comercial (22,9 a 70,6°Brix) e temperatura variando de 20 a 80°C, mostrando que este suco apresentou comportamento newtoniano para todas as condições estudadas. O suco de cereja com diferente conteúdo de sólidos solúveis, 22 a 74°Brix, e temperatura de 5 a 70°C comportou-se também, como um fluido newtoniano (GINCR et al., 1996). Sucos concentrados de pêssego, groselha (IBARZ et al. 1992) e laranja (IBARZ et al., 1994) também apresentaram este comportamento de fluido newtoniano independente de tempo.

Ao ser empregado à relação exponencial para os dados de viscosidade (μ) e concentração (°Brix) proposta por Zuritz et al. (2005), foi obtida a equação (1) com valor de coeficiente de correlação de 0,99. Os dados e a equação se encontram na Figura 5.

$$\mu = 0,00068 \exp^{0,13154 \times (\text{Brix})} \quad R^2 = 0,99 \quad (1)$$

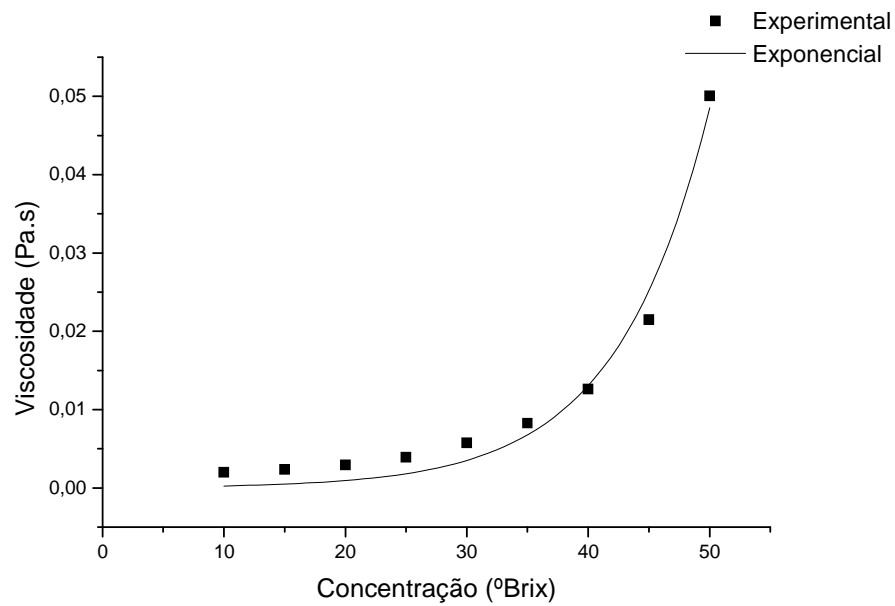


Figura 5. Viscosidade em função da concentração do suco de yacon

3.3 Determinação do ponto de início de congelamento

Na Figura 6 encontram-se as curvas de congelamento, a partir dos quais foram obtidos o ponto de início de congelamento (PIC) e a depressão do ponto de congelamento (FPD) dos sucos de yacon nas diferentes concentrações, mostrados na Tabela 3. Na Figura 6 se observa que à medida que a água foi sendo retirada por concentração, o tempo requerido para atingir o ponto de início de congelamento foi maior e as temperaturas mais baixas devido à menor quantidade de solvente.

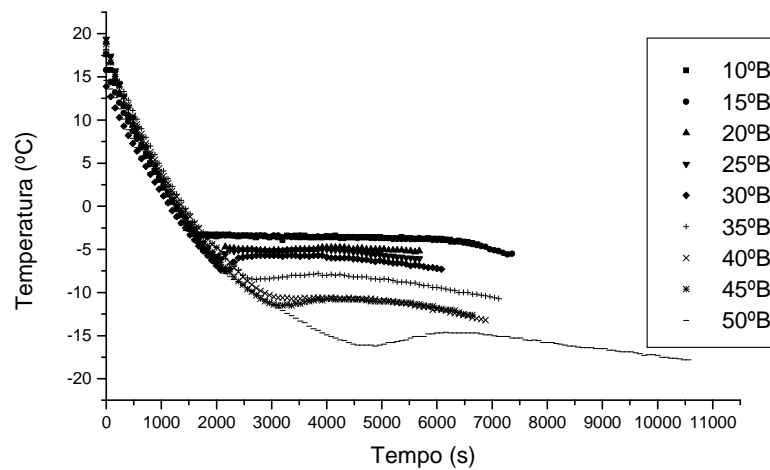


Figura 6. Curvas de congelamento do suco de yacon a diferentes concentrações.

Tabela 3. Depressão do ponto de congelamento e Ponto de início de congelamento para o suco de yacon concentrado

Concentração °Brix	Ponto de Início de Congelamento	Depressão do Ponto de Congelamento
10	-3,3 ^a	3,3
15	-3,3 ^a	3,3
20	-4,8 ^b	4,8
25	-5,0 ^b	5,0
30	-5,9 ^c	5,9
35	-7,9 ^d	7,9
40	-10,6 ^e	10,6
45	-10,9 ^e	10,9
50	-14,8 ^f	14,8

Valores expressos da Média \pm Desvio Padrão da Média. Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% de significância.

Para o suco de yacon concentrado na faixa de 10° a 50°Brix os pontos de início de congelamento aumentam com a concentração como mostrado (Tabela 3), não existindo diferenças significativas entre os valores que correspondem às concentrações de 10° com 15° Brix, de 20° com 25°Brix e de 40° com 45°Brix.

A depressão do ponto de congelação é definida como a diferença entre a temperatura de congelamento de um produto e a temperatura de congelamento da água pura. O ponto de congelamento de uma solução é menor que o da água pura na mesma temperatura e pressão. Isso se deve a diminuição da pressão de vapor, que segundo a lei de Raoult, está diretamente relacionada com o abaixamento do ponto de congelamento da solução, de modo que a atividade de água diminui de forma proporcional à depressão do ponto de congelamento (MOURA, 1998). Os valores de atividade de água do suco de yacon foram de 0,99 a para o suco com menor concentração de 10°Brix e de 0,93 para a solução mais concentrada. A depressão do ponto de congelação aumenta com o aumento da concentração do suco, enquanto a atividade de água diminui. CHEN (1987) relata que é característica dos alimentos a depressão do ponto de congelação ser dependente da concentração dos solutos e/ou sólidos solúveis. Para o suco de yacon concentrado, correlacionou-se os dados de concentração de sólidos solúveis (°Brix) com o ponto de início de congelamento (PIC), obtendo-se o modelo matemático linear (equação 2) proposto por Wang et al. (2003). Os dados e a equação fixada são mostrados na Figura 7.

$$PIC = 0,94111 - 0,27767(^{\circ} Brix) \quad R^2 = 0,96 \quad (2)$$

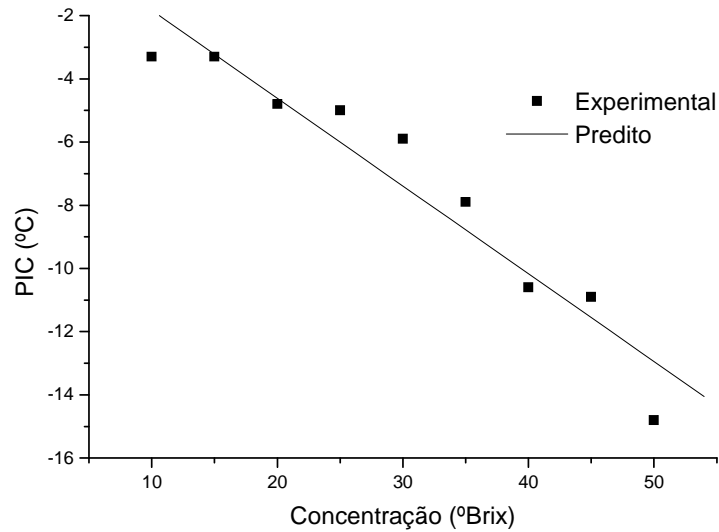


Figura 7. Concentração em função do ponto de início de congelamento do suco de yacon

Chen (1986) relacionou os dados da depressão do ponto de congelamento em função da fração mássica dos solutos onde se obtém a curva de equilíbrio de congelamento que exhibe o comportamento da depressão do ponto de congelamento devido aos sólidos solúveis na solução. Essa equação é aplicada para caracterizar a curva de equilíbrio de congelamento:

$$\Delta T = \frac{K_0 X_s}{(1 - X_s - bX_s)M_s} \quad (4)$$

onde $\Delta T = T_0 - T_1$ é a depressão do ponto de congelamento, X_s é a fração mássica dos solutos; M_s é a massa molar de todos os solutos constituintes, $K_0 = 1860$ é a constante de Van't Hoff's e b é a quantidade de água congelada por peso molecular de soluto (SCHWARTZBERG, 1976).

O valor da massa molar (M_s) estimado através da depressão do ponto de congelamento do suco de yacon foi de 108,71 e o valor e a quantidade de água ligada

aos sólidos (b) foi de -0,21, esta água é indisponível para congelamento em qualquer temperatura. Chen (1986) assumiu que a atividade de água também pode ser maior devido a interações complexas entre solutos e água e que pode ser expresso por um aumento equivalente ou diminuição da água livre. Assim, o valor de b pode ser positivo ou negativo conforme a natureza dos dados do ponto de congelamento; como já demonstrado em estudo do ponto de congelamento do leite que foi de -1,512 a -0,164 de acordo com os modelos estudados (CHEN et al., 1996). A equação (4) e a curva de equilíbrio de congelamento para o suco de yacon são mostradas na Figura 8, o coeficiente de correlação foi de 0,98.

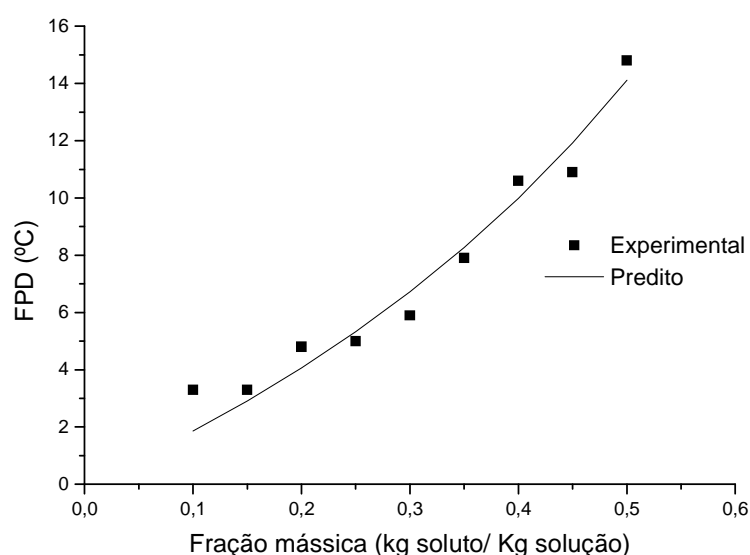


Figura 8. Curva de equilíbrio de congelamento para o suco de yacon

4 CONCLUSÃO

O suco de yacon concentrado na faixa de 10^o a 50^o Brix apresentou um comportamento de fluido newtoniano, onde a viscosidade para cada concentração se manteve constante independente da taxa de deformação. A viscosidade do suco

aumentou com a concentração, sendo significativo apenas nas concentrações a partir de 30°Brix do suco e essa relação pode ser descrita por uma equação exponencial.

A atividade de água e o ponto de início de congelamento diminuíram à medida que o suco foi concentrado devido à menor quantidade de água livre no meio.

REFERÊNCIAS

- AOAC. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. Washington, DC, 1990.
- AOAC. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. Washington, DC, 2000.
- ASSIS, M. M. M.; LANNES, S. C. S.; TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N; ROMERO, J. Influence of temperature and concentration on thermophysical properties of yellow mombin (*Spondias mombin*, L.). **European Food Research Technology**, v.223, p.585-593, 2006.
- AZOUBEL, P. M.; CIPRIANI, D. C.; EL- AOUAR, A. A.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.413-417, 2005.
- BALISCHI, L.; PEREIRA, N. C.; LIMA, O. C. M.; BARROS, S. T. D.; DAMASCENO, J. W.; MENDES, E. S. Influência do tratamento enzimático sobre as características reológicas e microscópicas da polpa de acerola. **Acta Scientiarum**, v. 24 (6), p.1649-1658, 2002.
- BONOMO, R.C.F; FONTAN, R. I.; SOUZA; VELOSO, C. M.; REIS, M. F. T.; CASTRO, S. S. Thermophysical properties of cashew luice a different concentrations and temperatures. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v. 11 (1), p.35-42, 2009.
- BRANCO, I. G.; GASPARETTO, A. C. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento

- reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, 2003.
- CABELLO C. Extração e Pré-Tratamento Químico de Frutanos de Yacon, *Polymnia sonchifolia*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, p. 202-207, 2005.
- CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum*) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4 (1), p. 37-40, 2002.
- CABRAL, R. A. F.; OREGO-ALZATE, C. E.; GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J. Rheological and thermophysical properties of blackberry juices. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27 (3), p. 589-596, 2007.
- CARVALHO, G. B. M.; GINORIS, Y. P.; CANDIDO, E. J.; CANILHA, L.; CARVALHO, W.; SILVA, J.A. Estudo do hidrolisado de eucalipto em diferentes concentrações utilizando evaporação á vácuo para fins fermentativos. **Revista Analytica**, v.14, p.54-57, 2005.
- CAZETTA, M.L.; MARTINS, P.M.M.; MONTI, R.; CONTIERO, J. Yacon (*Polymnia sanchifolia*) extract as a substrate to produce inulinase by *Kluyveromyces marxianus var.bulgaricus*. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.301–305, 2005.
- CHEN, P.; CHEN, X. D.; FREE, K. W. Measurement and Data Interpretation of the Freezing Point Depression of Milks. **Journal of Food Engineering**, v.30, p. 239-253, 1996.
- CHEN,C. R. Relationship between water activity and freezing point depression of food system. **Journal of Food Science**, v. 52 (2), p. 433-435, 1987.
- CHEN, C. S. Effective molecular weight of aqueous solutions and liquid foods calculated from the freezing point depression. **Journal of Food Science**. v. 51, p. 1537, 1986.
- CHEN,C. S.; NGUYEN; BRADDOCK, R.J. Relationship between freezing point depression and solute composition of fruit juice systems. **Journal of Food Science**, v. 55 (2), p. 566-569, 1990.
- DAK, M.; VERMA R.C.; SHARMA G. P. Flow characteristics of juice of “Totapuri” mangoes. **Journal of Food Engineering**. v.76, p.557-561, 2006.

- DAK, M.; VERMA, R.C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on Rheological properties of “Kesar” mango juice. **Journal of Food Engineering**. v.80, p.1011-1015, 2007.
- DINIZ, E.; FIGUEIREDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M. Atividade de água e condutividade elétrica de polpas de acerola concentradas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, n.1, p.9-17, 2003.
- GIBSON, R.; ROBERFROID, M. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**. v. 125 (6), p. 1401-1412, 1995.
- GINCR, J.; IBARZ, A.; GARZA, S.; XHIAN-QUAN, S. Rheology of Clarified Cherry Juices. **Journal of Food Engineering**. v.30, p.147-154, 1996.
- IBARZ, A.; GONZALES, C.; ESPLUGAS, S.; VICENTE, M. Rheology of clarified fruit juices. I: Peach juices. **Journal of Food Engineering**. v. 15 (1), p.49-61, 1992.
- IBARZ, A.; GONZALES, C.; ESPLUGAS, S. Rheology of clarified fruit juices. III: Orange juices. **Journal of Food Engineering**, v. 21 (4), p.485-494, 1994.
- JIMÉNEZ, G.; DURÁN, L. Propriedades reológicas de produtos derivados de frutas e de tomate. **Revista Agroquímica e Tecnologia de Alimentos**. v.19 (2), p.203-217, 1979.
- KIM, Y.; FAGUH, M. N.; WANG, S. S. Factors affecting gel formation of inulin. **Carbohydrate Polymers**, v. 46 (2), p. 135-145, 2001.
- LEITE, J. T. C. **Obtenção de extrato de inulina de chicória (*Chicorium intybus*) por abaixamento de temperatura e secagem por spray dryer**, 2001. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- LEITE, T.C. J.; PARK, K.J.; RAMALHO R.P.J.; FURLAN, M.D. Caracterização reológica das diferentes fases de extrato de inulina de raízes de chicória, obtidas por abaixamento de temperatura. **Engenharia Agrícola**. v. 24 (1), 2004.
- LEWIS, M.J. **Propriedades físicas dos alimentos y de los sistemas de procesado**. 1 ed. Ed. Acribia: Zaragoza, 1993.
- MANRIQUE I.; PÁRRAGA A.; HERMANN M. Jarabe de Yacón. Principios y Procesamiento. **Centro Internacional de la Papa (CIP)**. Apartado 1558, La Molina. Lima 12, Peru, 2005.

- MOSCATTO, J. A.; BORSATO D.; BONA E.; OLIVEIRA A. S.; HAULY, M. C. de O. The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 41 (2), p. 181–188, 2006.
- MOURA, S. C. S. R., *Estudo da atividade de água e da condutividade elétrica em sucos concentrados de frutas tropicais*, 1998. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- MUKHERJEE S.; CHATTOPADHYAY P.K. Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. *Journal of Food Engineering*. v.78, p.52–60, 2007.
- NOGUEIRA, R. I. *Processo de Obtenção de Inulina de Chicória (Chicorium intybus) em pó*, 2002. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola. Faculdade de engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- RIBERO, G. G.; RUBIORO, A. C.; ZORILLA, S.E. Initial freezing point of Mozzarella cheese. *Journal of Food Engineering*. v. 81, p. 157-161, 2007.
- SANTANA, I.; CARDOSO, M.N. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidades de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. *Ciência Rural*, v. 38 (3), 2008.
- SCHER, C.F. *Estudo do branqueamento e da secagem mediante ar quente do yacon (Smallanthus sonchifolius)*, 2009a. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 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.
- SCHWARTZBERG, H. G. Effective heat capacities for the freezing and thawing of food. *Journal of Food Science* v. 41. p.153, 1976.
- SHAMSUDIN, R.; WAN DAUD; TAKRIF, M. S.; HASSAN, O.; LICALI, C. Rheological properties of Josophine pineapple juice at different stages of maturity. *International Journal of Food Science and Technology*. v. 44. p.757-762, 2009.
- SILVA, R.F. Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World*, v.41 (10), p.792-795, 1996.
- TONELI, J. T. C. L.; PARK. K. J.; RAMALHO, J. R. P.; MURR, F. E. X.; FABBRO, I. M. D. Rheological Characterization of Chicory root (*Cichorium Intybus L.*)

- inulin solution. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. v. 25 (3), p. 461-471, 2008.
- VANDRESEN S.; QUADRI, G. N. M.; SOUZA, J.; HOTZA, D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**. v. 92, p.269-274, 2009.
- VIDAL, J. R. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.24 (1), 2004.
- VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; LIMA, G.P.P. Ciclo de cultivo de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl) em função do conteúdo de frutanos nos órgãos subterrâneos. In: **II Simposio Latinoamericano de Raíces y Tubérculos**. Lima (Perú), Universidad Nacional Agraria La Molina, 2001.
- WANG, J.; LITE, L.; YANG, D. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits. **Journal of Food Science**, v. 60, p.4570-4572, 2003.
- ZARDINI, E. Ethnobotanical notes on "Yacon", *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Economix Boanic Bronx**. v.45, p.72-85, 1991.
- ZIMERI, J. E.; KOKINI, J. L. Phase transitions of inulin-waxy maize starch systems in limited moisture environments. **Carbohydrate Polymers**, v. 51 (2), p. 183-190, 2003.
- ZULETA A.; SAMBUCETTI M.E. Inulin Determination for Food Labeling. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.49, p.4570-4572, 2001.
- ZURITZ, C. A.; PUNTES, M. E.; MATHEY, H. H.; PÉREZ, E. H.; GASCÓN A.; RÚBIO, L. A.; CARULLO, C. A.; CHERNIKOFF, R. E.; CABEZA, M. S. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentration and temperatures. **Journal of Food Engineering**. v. 71, p. 143-149, 2005.

CAPÍTULO 3

Caracterização do suco e da polpa em pó de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)

Artigo a ser submetido para publicação na revista Brazilian Journal of Food Technology e formatado de acordo com as normas desta revista.

Caracterização do suco e da polpa em pó de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)

Camila Carvalho Lago, Anahi Bernstein,

Adriano Brandelli e Caciano Zapata Noreña,

Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio

Grande do Sul. Porto Alegre – RS, Brasil.

RESUMO: O presente trabalho visou estudar experimentalmente o comportamento da secagem do suco concentrado de yacon a 40°Brix, empregando amido de milho nativo como encapsulante, e da polpa de yacon. Os ensaios experimentais foram conduzidos em um secador de ar forçado, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C por um tempo de 5 horas. Mediante os resultados obtidos observou-se que com o aumento da temperatura do ar de secagem diminuiu o tempo necessário para as amostras atingirem o equilíbrio. Os valores de umidade no equilíbrio foram de 0,0071; 0,0052 e 0,0050 para a polpa de yacon e de 0,0075; 0,0030 e 0,0030 para o suco encapsulado nas temperaturas de 50, 60 e 70°C respectivamente, resultando em valores de atividade de água menores que 0,25. Os produtos desidratados foram moídos para produção de pós que foram visualizados através de microscopia eletrônica de varredura verificando-se a presença de inulina no pó da polpa de yacon e bom encapsulamento da inulina pelo amido de milho nas amostras de pó do suco concentrado. As temperaturas de transição vítrea para o pó de suco concentrado encapsulado foram de 44,74; 45,14 e 49,72°C para valores de atividade de água de 0,15; 0,07 e 0,03 respectivamente e para o pó da polpa de yacon foi de 48,78°C em atividade de água de 0,13.

Palavras-chave: yacon; encapsulação; secagem; microscopia; transição vítrea.

1 INTRODUÇÃO

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta da família Asteraceae, originária das regiões andinas. Suas raízes tuberosas são semelhantes a batatas doces em aparência, possuem gosto doce e polpa crocante, sendo bastante consumidas na forma “in natura” (SANTANA e CARDOSO, 2008). Tem sido considerada como alimento nutracêutico em decorrência de componentes como fibras alimentares solúveis e prebióticos - devido a sua baixa digestibilidade pelas enzimas do trato gastrintestinal humano, estímulo seletivo do crescimento e atividade de bactérias intestinais promotoras da saúde (GIBSON e ROBERFROID, 1995).

As raízes do yacon são tuberosas com um gosto normalmente doce por apresentar abundância de carboidratos solúveis (GRAU E REA, 1997). Cazetta et al., (2005) mencionam que o yacon armazena inulina ou frutooligossacarídeos (3-10%), com valor energético relativamente baixo. O percentual de água das raízes situa-se em torno de 83 a 90% do peso fresco (LACHMAN et al., 2003). Devido ao alto conteúdo de água a vida útil é reduzida, em condições ambientais é de aproximadamente sete dias, visto que os tecidos internos se apresentam muito delicados, característica que os predispõem a sofrerem rachaduras durante a colheita, embalagem e transporte (MANRIQUE et al., 2005).

Inulina é um polissacarídeo de armazenamento natural não digerível constituído por uma longa cadeia de moléculas de frutose com uma molécula de glicose terminal (FLAMM et al., 2001). A inulina nativa é uma mistura de oligômeros e longas cadeias de polímeros com numero variável de moléculas de frutose, usualmente com uma molécula de glicose no final da cadeia e, cujo grau de

polimerização varia de 2 a 60 unidades, comumente caracterizada pelo grau médio de polimerização de aproximadamente 12 (VILLEGAS e COSTELL, 2007). Por hidrólise parcial enzimática da inulina nativa são obtidas oligofruktoses com um grau de polimerização entre 2 e 7 unidades (FRANCK, 2002). Alternativamente os oligômeros com grau de polimerização abaixo de 10 podem ser separados da inulina nativa por métodos físicos (ultrafiltração, cristalização) e é obtido inulina de cadeia longa com grau médio de polimerização entre 22 e 25 (MOERMAN et al., 2004). No caso da inulina da chicória ela contém moléculas de diferentes graus de polimerização (de 2 a 60) e cujos produtos comerciais contem inulina de cadeia curta (grau de polimerização de 2 a 7) ou inulina de cadeia longa (grau de polimerização de 22 a 25) (ROBERFROID, 2007). Segundo Flamm et al. (2001), além de seus efeitos benéficos para a saúde como fibra dietética e ingrediente prebiótico, a inulina apresenta propriedades tecnológicas como adoçante de baixa caloria, substituto de gordura ou modificador de textura (TUNGLAND e MEYER, 2002).

Rosenberg et al. (1990) definem a microencapsulação como uma tecnologia de revestimento, através da qual pequenas gotas de um líquido ou partículas sólidas são revestidas por cápsulas contínuas e individuais, com função de proteger o material encapsulado de fatores que possam vir a causar a sua deterioração, tais como oxigênio, luz ou umidade. O processo emprega formulações contendo o ingrediente a ser preservado em mistura com agentes encapsulantes dos mais variados: amido ou seus derivados, proteínas, gomas, lipídeos, ou combinações entre estes agentes (SHAHIDI e HAN, 1993). O amido é um material abundante e barato. Em seu estado nativo, o amido, em forma de grânulos, é insolúvel em água fria. A viscosidade das soluções de amido é geralmente alta demais para a maior

parte dos processos de encapsulação (KENYON, 1995). Conforme Van Der Burgt et al. (2000), para preencher as várias demandas para funcionalidades em produtos amiláceos diferentes, o amido processado industrialmente pode ser modificado enzimática, física ou quimicamente.

De acordo com Pérez-Alonso et al. (2003), a microencapsulação envolve um procedimento de emulsificação de um material central e a posterior desidratação das microcápsulas que podem ser secas por atomização. Outros processos como extrusão, inclusão molecular, co-cristalização entre outros (SHAHIDI e HAN, 1993). Existem diversas utilidades para o processo de microencapsulação, tais como: manusear líquidos como sólidos, separar componentes numa mistura de sólidos, reduzir a volatilidade do material, proporcionar a proteção do ambiente aos componentes do núcleo, alterar as propriedades da superfície, controlar a liberação dos componentes e mascarar o sabor amargo de alguns compostos (BAKAN, 1973).

Segundo Rosenberg et al. (1985) a caracterização morfológica das microcápsulas obtidas por encapsulamento é uma análise essencial, pois analisa se o processo de encapsulação foi eficiente ou não. Através da microscopia eletrônica de varredura pode-se observar a maneira pela qual o núcleo está na matriz sólida, os efeitos produzidos por diferentes encapsulantes, bem como a existência de vazios nas microcápsulas (SHAHIDI e HAN, 1993). Variações nos parâmetros do processamento tais como temperaturas e tipo de atomizador podem acarretar mudanças na morfologia das cápsulas que por sua vez podem interferir nas importantes características do produto final e na estabilidade (ROSENBERG et al., 1985).

Conforme Sebhatu et al. (1994), sucos de frutas em pó obtidos por secagem favorecem a produção de sólidos com elevado teor de açúcar, a maioria deles

presentes no estado amorfo. Materiais amorfos podem existir como um sólido vítreo ou uma matriz no estado borracha, sendo que a transição entre estes estados é uma mudança de fase de segunda ordem que ocorre na chamada temperatura de Transição Vítreo (Tg).

Várias mudanças nas características físicas, químicas e biológicas ocorrem durante o processamento, armazenamento e distribuição dos alimentos. A temperatura de transição vítreo pode ser um parâmetro de referência para caracterizar as propriedades, qualidade e estabilidade dos sistemas alimentares (SILVA et al., 2006). Nos últimos anos problemas de aderência e aglomeração em produtos alimentares em pó tem sido relacionados com seu baixo valor de temperatura de transição vítreo (COLLARES et al., 2004). A abordagem mais comum para secar estes produtos tem sido a de adicionar aditivos de alto peso molecular (como a maltodextrina) para aumentar a Tg (BHANDARI e HOWES, 1999).

O objetivo deste trabalho foi estudar a secagem do suco concentrado, empregando amido nativo de milho como agente encapsulante, e da polpa de yacon nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. A temperatura de transição vítreo e a análise da microestrutura destes produtos em pó também foram avaliadas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matéria Prima

Os tubérculos de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) provenientes do estado de São Paulo foram adquiridos na Central de Abastecimento do Rio Grande do Sul

(Ceasa) em Porto Alegre. Os frutos foram limpos, selecionados considerando a ausência de injúrias visuais e infecções e armazenados à temperatura de refrigeração ($8\pm 1^{\circ}\text{C}$) até o momento do uso.

2.2 Procedimento Experimental

As raízes de yacon foram descascadas, cortadas em pequenos cubos de aproximadamente $4\pm 0,5\text{cm}$ de espessura e passadas em um processador de frutas. O extrato líquido foi filtrado em papel filtro Whatman n. 01 com auxílio de uma bomba de vácuo para separação do suco e dos sólidos insolúveis (polpa). O suco retirado foi concentrado utilizando-se um rotavapor marca Laborota 4000, até atingir concentração de 40°Brix , sob vácuo de 600mmHg , empregando um banho termostatizado de água à 80°C e rotação de 60rpm . A concentração do suco em graus Brix foi medida através de refratômetro de bancada (Atago, NAR T3, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan) a 20°C , conforme o método no 932.12 da A.O.A.C (2000).

Ao suco concentrado adicionou-se amido de milho em sua forma nativa na proporção de $50\text{g}/40\text{g}$ (suco/amido) e aquecido na temperatura de $60\pm 2^{\circ}\text{C}$, mantendo-se a suspensão sob agitação por 5 minutos até a formação de pequenos flocos. Esta é a primeira etapa do processo de encapsulação, onde ocorre a emulsificação do material central (suco) com o material de parede (amido) para posterior secagem.

Para a secagem dos flocos e da polpa foi empregado secador de bandejas de ar forçado nas temperaturas de 50 , 60 e 70°C . O produto seco foi moído em moinho de martelos Pulverizzette 14 (Fritsch, Idar-Oberstein, Alemanha) a 1200rpm , com

peneira de malha Tyler 0,5, obtendo-se assim os produtos em pó conforme fluxograma descrito na Figura 1.

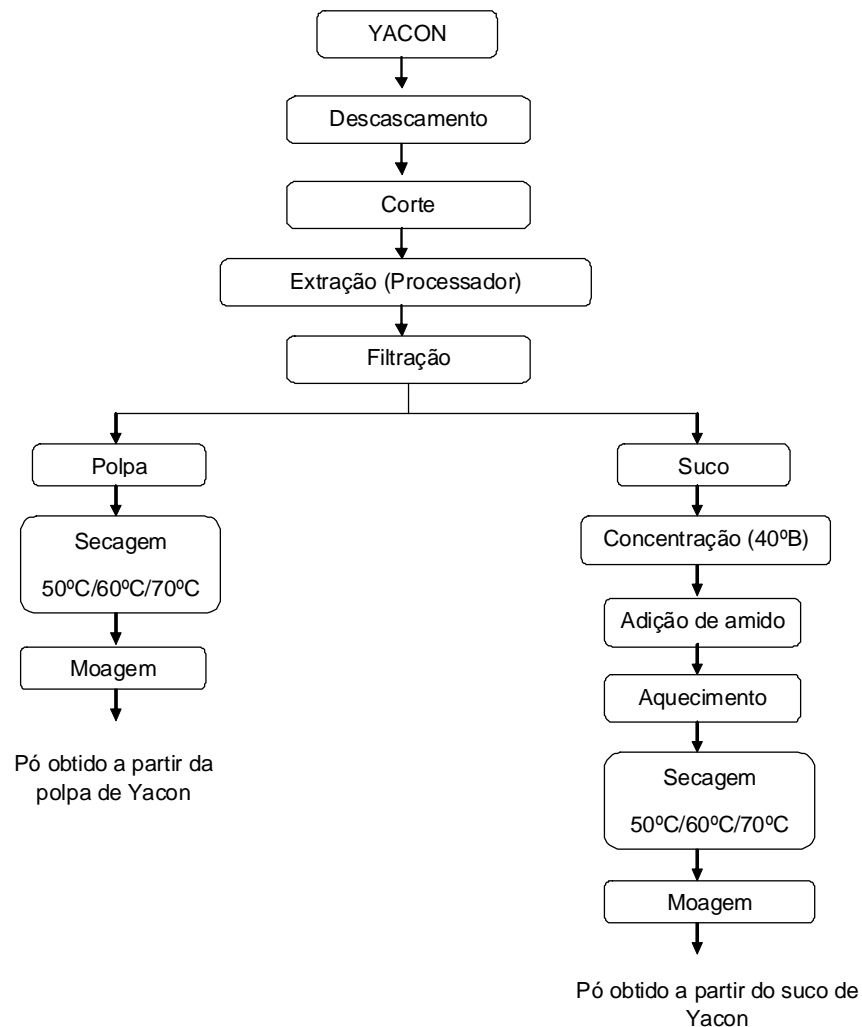


Figura 1. Fluxograma do Procedimento Experimental para obtenção dos produtos em pó

Durante a secagem a perda de peso no material foi medida através da pesagem realizada na primeira hora a cada 5 minutos, na segunda hora de 10 em 10 minutos e no tempo restante a cada 15 minutos até atingir peso constante, totalizando 5 horas de secagem. Durante a secagem também foi medida a atividade de água (a_w) a cada 15 minutos do início até o final da secagem.

2.3 Atividade de Água

Os valores de atividade de água foram obtidos através de leitura direta em medidor eletrônico (Aqualab 3TE-Decagon, Pullman, USA) método n. 978.18 (AOAC, 1990).

2.4 Determinação de Açúcares por HPLC

A preparação das amostras foi feita adaptando-se o método descrito por Toneli et al. (2007), empregado para extração de inulina em raízes de chicória. Dez gramas (10g) de amostra foram triturados com 100 mL água quente deionizada a 90°C utilizando um multiprocessador de alimentos. O produto foi aquecido em banho-maria à 80°C por 1 hora sob agitação contínua. Após esse tempo, a suspensão foi resfriada e filtrada em papel filtro Whatman nº 01, passadas em membrana de 22µm e posteriormente em cartucho tipo C-18 (Sep-pak, Waters). Os filtrados foram congelados à -18°C e armazenados. Para as análises, as amostras congeladas foram pré-aquecidas à 80°C e colocadas em banho de ultra-som da marca Thorton por 10 minutos para posterior injeção em HPLC.

As análises dos conteúdos de inulina, glicose e frutose nas amostras foram realizadas adaptando-se o método descrito por Zuleta e Sambucetti (2001) por determinação direta pelo método de cromatografia líquida de alta eficiência com detecção de índice refração (HPLC-RI), utilizando cromatógrafo marca Perkin Elmer série 200, com detector de índice de refração, água (Mili-Q) como fase móvel a 0,6 mL/min, temperatura 80°C e coluna da Rezex RHM Monosaccharide da marca

Phenomenex, 300 x 7,8 mm, com um tempo total de corrida de 13 minutos. As análises foram realizadas em duplicata para cada amostra estudada.

2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

Realizada em amostras em pó obtidas pela desidratação a 70°C do suco concentrado encapsulado ou da polpa de yacon, que consiste em preparar uma quantidade de aproximadamente um grama de amostra e colocá-la sobre uma fita adesiva dupla face que foi aderida em suportes metálicos (“stubs”). Uma vez que as amostras analisadas não eram metálicas, houve necessidade de se realizar uma metalização, cobrindo-as com uma camada fina de metal de acordo com metodologia empregada por Toneli et al. (2008).

As análises foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura (JSM 5800, Japão) que opera numa tensão de 0,1 a 30kV com resolução máxima de 3nm. As imagens do suco encapsulado de yacon em pó foram obtidas com aumento de 350x e 700x e para a polpa de yacon em pó os aumentos foram de 800x e 2500x.

2.6 Temperatura de Transição Vítreia

A temperatura de transição vítrea do suco de yacon encapsulado em pó, obtido às temperaturas de 50, 60 e 70°C e, da polpa em pó à 70°C, foi determinada pela técnica de calorimetria diferencial de varredura no equipamento DSC Q20, TA Instruments (New Castle, DE) utilizando nitrogênio ultra-puro como gás de purga com vazão de 50mL/min. Pesou-se aproximadamente 10mg da amostra em panelinhas de alumínio hermeticamente fechadas; a temperatura inicial utilizada foi

de -50°C , posteriormente a amostra foi aquecida até 200°C a $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e resfriada até -50°C a $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

A temperatura de transição vítrea (T_g) foi determinada através dos termogramas obtidos no DSC utilizando-se o software Universal Analyses 2000 recomendada por Telis e Sobral (2002).

2.7 Análise Estatística

As comparações de médias para a umidade e a atividade de água no equilíbrio para os produtos desidratados e para o teor de açúcares antes e após a secagem foram realizadas pela prova de comparação de médias de Tukey, utilizando o programa estatístico SAS 9.1(1998).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Matéria Prima

O teor de umidade do suco concentrado a 40°Brix de yacon foi de $60,33 \pm 0,13\%$ em base úmida. Com a adição do amido de milho o teor de umidade dos flocos formados diminuiu para $34,71 \pm 0,13$ ($65,29\%$ em base seca). A atividade de água inicial do suco concentrado foi de $0,95 \pm 0,02$ e foi reduzida após a adição do agente encapsulante para $0,54 \pm 0,01$. Materiais como amido absorvem água, diminuindo assim a atividade de água. Em estudo de encapsulação de semente de pêssigo com um tipo de amido modificado, Pelentir (2007) relatou que esse agente encapsulante reduz o valor da umidade no produto.

Na polpa de yacon o teor de umidade foi de $81,70 \pm 0,09$ em base úmida (18,3% b.s), estando próximos dos valores encontrados para o yacon in natura que foi de 88,69% (SCHER et al., 2009) e de 70 a 93% (VALENTOVÀ e ULRICHOVÁ, 2003). A atividade de água da polpa foi de $0,93 \pm 0,02$, valor menor ao encontrado por Michels (2005) que foi de 0,99 para o yacon “in natura”, devido ao fato da polpa ter sido filtrada para retirada da maior quantidade possível do suco.

Os teores de açúcares nos flocos, ou seja, no produto inicial da secagem foram $1,07\% \pm 0,18$ de inulina, $3,30\% \pm 0,28$ de glicose e $2,99\% \pm 0,18$ de frutose. Na polpa de yacon os teores iniciais de açúcares foram de $3,15\% \pm 0,16$ de inulina, $10,98\% \pm 0,32$ de glicose e $4,30\% \pm 0,57$ de frutose.

3.2 Curvas de Secagem

As curvas de secagem em todas as temperaturas estudadas para o suco encapsulado e para a polpa de yacon estão mostradas nas Figuras 2 e 3 respectivamente.

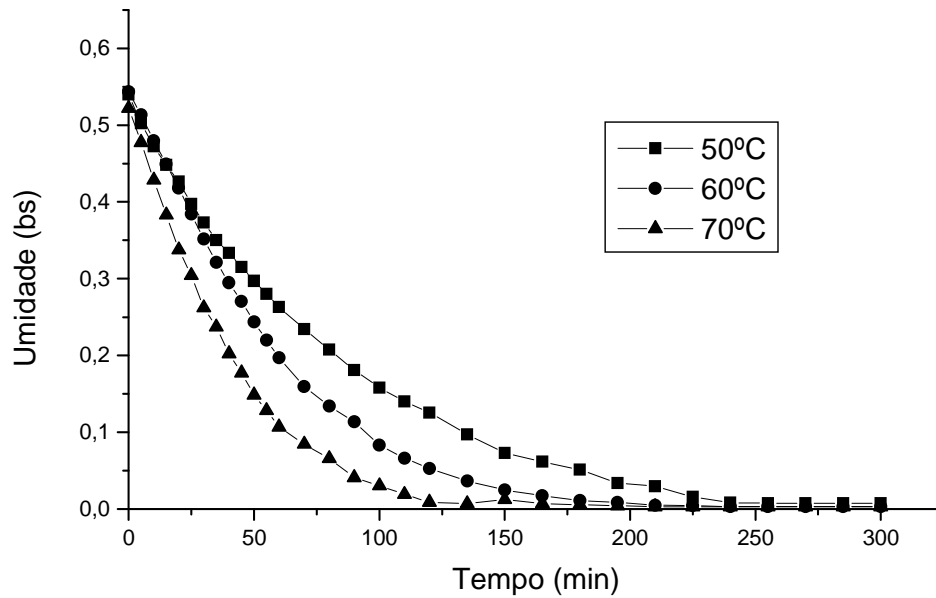


Figura 2. Umidade em função do tempo de secagem a 50, 60 e 70°C do suco encapsulado de yacon.

Na Figura 2 pode-se observar que a umidade diminuiu rapidamente durante os primeiros 100 minutos iniciais, sendo a perda de umidade mais rápida quando se utilizou temperaturas mais elevadas. Após este período, verificou-se que a perda de água no produto se tornou mais lenta até atingir um valor constante, momento no qual as amostras atingiram o equilíbrio.

Verificou-se que a umidade diminuiu com o tempo e as taxas de secagem aumentaram com a temperatura. Isso como consequência do aumento da taxa de transferência de calor resultando na diminuição do tempo total de secagem (KAYA et al., 2008)

Nota-se que a perda do conteúdo de umidade foi bem rápida, no início do processo de secagem, cuja estabilização para a temperatura mais baixa (50°C) ocorreu aos 255 minutos de secagem enquanto para a temperatura mais alta a

estabilidade ocorreu em 225 minutos confirmando a influência da temperatura no processo.

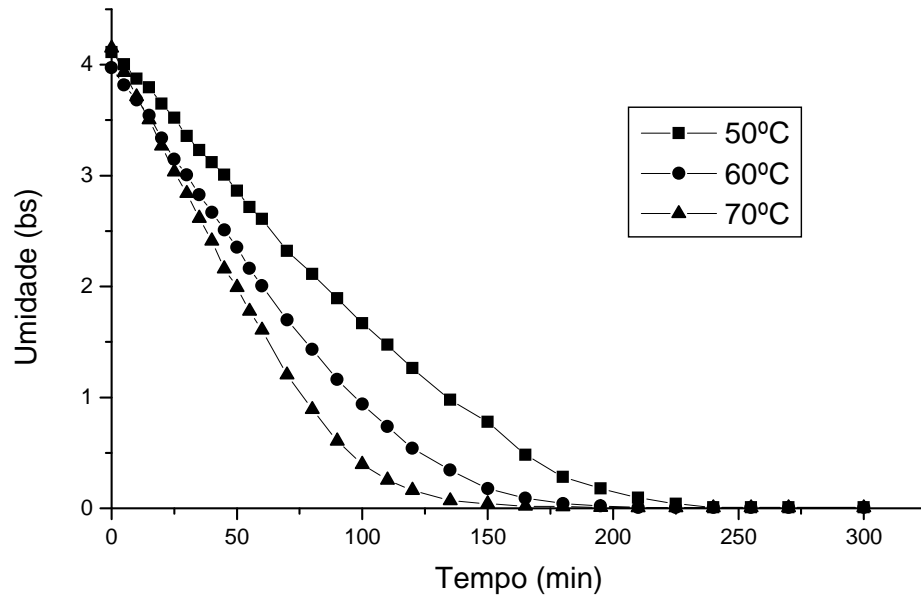


Figura 3. Umidade em função do tempo de secagem a 50, 60 e 70°C da polpa de yacon.

Comportamento similar pode ser observado na Figura 3 onde as curvas de secagem encontram-se separadas uma da outra, devido ao efeito da temperatura do ar da secagem. A umidade decai continuamente sendo que as maiores taxas de secagem se observam a 70°C e, quanto maior a temperatura de secagem, maior a perda de umidade pelo produto (SACILIK et al., 2006; IBRAIM e PALA, 2002).

A secagem em alta temperatura leva menos tempo para atingir a umidade de equilíbrio devido a uma maior força motriz para a transferência de calor (LEERATANARAK et al., 2006) como já reportado em estudos de secagem de polpa de facheiro (LIMA et al., 2007), polpa de jaca (DANTAS et al., 2008) entre outros.

A atividade de água em função do tempo de secagem nas diferentes

temperaturas estudadas é mostrada nas Figuras 4 e 5.

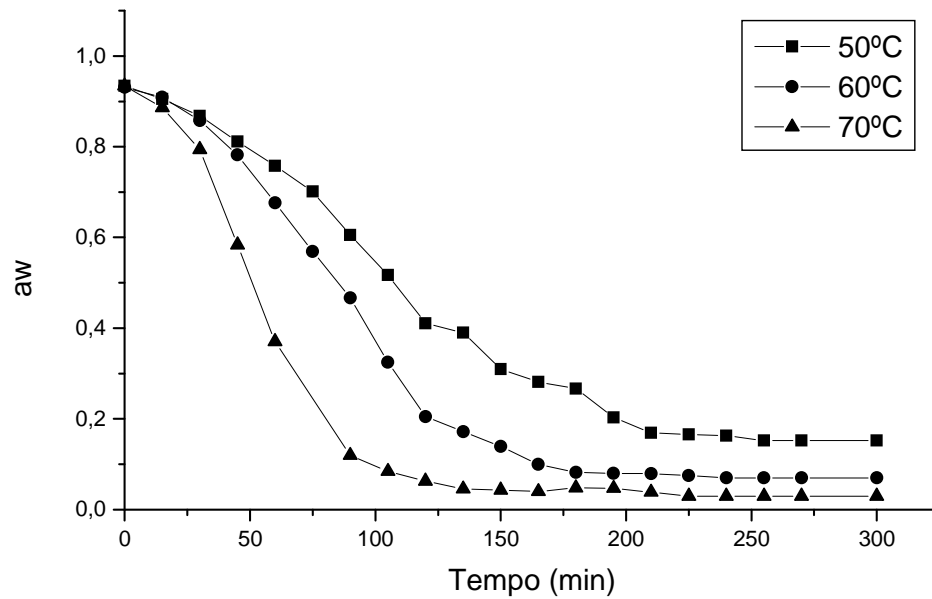


Figura 4. Atividade de água em função do tempo de secagem a 50, 60 e 70°C do suco encapsulado de yacon.

No caso do suco de yacon, a atividade de água diminuiu mais rapidamente quando a temperatura do ar utilizada foi maior, sendo essa perda maior nos 100 minutos iniciais da secagem, para as temperaturas de 60 e 70°C e para 50°C nos primeiros 150 minutos, indicando que a retirada da maior parte da água livre ocorreu neste período. A perda de água livre continuou até o momento em que se atingiu a atividade de água de equilíbrio.

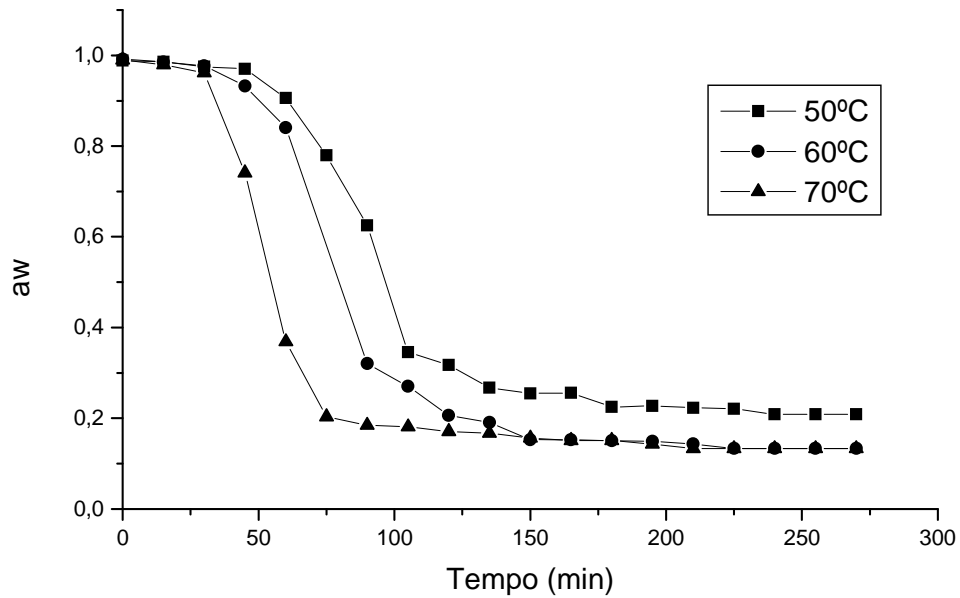


Figura 5. Atividade de água em função do tempo de secagem a 50, 60 e 70°C da polpa de yacon.

Na secagem da polpa de yacon observou-se que, inicialmente apresentou um período onde a atividade de água não sofreu variação (os primeiros 35 minutos), e a partir daí, a atividade de água sofreu rápida diminuição até os 90 minutos de secagem, sendo essa perda maior com o aumento da temperatura até atingir o equilíbrio.

Das Figuras anteriores foram obtidos, em condições dinâmicas durante a secagem, os valores de umidade e atividade de água no equilíbrio cujos valores são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Umidades e atividades de água no equilíbrio do suco encapsulado e da polpa de yacon

	Temperatura de Secagem	Tempo para atingir o equilíbrio (min)	aw	Umidade Equilíbrio (bs)
Polpa	50°C	240	0,210±0,011 ^a	0,0071±0,0010 ^a
	60°C	225	0,133±0,040 ^b	0,0052±0,0017 ^b
	70°C	210	0,133±0,021 ^b	0,0050±0,0008 ^b
Suco encapsulado	50°C	255	0,150±0,010 ^a	0,0075±0,0002 ^a
	60°C	240	0,070±0,012 ^b	0,0030±0,0010 ^b
	70°C	225	0,031±0,007 ^c	0,0030±0,0014 ^b

Valores expressos da Média ± Desvio Padrão da Média. Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 1 verifica-se que, à medida que aumentava a temperatura, os produtos requeriam de tempos menores para atingir o equilíbrio. Scher et al. (2009) em estudo de secagem de rodela de yacon sem branqueamento reporta que os valores de atividade de água tornaram-se constantes nos tempos de 270, 240 e 200 minutos para as temperaturas de 50, 60 e 70°C respectivamente, cujos valores foram de 0,389; 0,375 e 0,338.

A atividade de água da polpa de yacon desidratada foi significativamente maior na temperatura de 50°C e não apresentou diferenças entre as temperaturas de secagem de 60 e 70°C. O suco encapsulado desidratado mostrou que os valores de atividade de água diminuiriam com o aumento da temperatura, sendo este decréscimo significativo ($p < 0,05$) para as três temperaturas avaliadas.

Quanto aos valores de umidade de equilíbrio, observou-se que na polpa de yacon e no suco encapsulado desidratado, os valores de umidade no equilíbrio a 50°C foram significativamente maiores do que a 60 e 70°C, e não houve diferenças significativas entre as umidades a essas duas temperaturas ($p > 0,05$).

A variação nos teores de umidade e de atividade de água nos pós encapsulados pode ser atribuída ao produto empregado como encapsulante, como sua estrutura química, número de ramificações que podem se ligar a água durante a secagem (TONON, et al., 2009). Esses autores ao estudar encapsulação do açaí utilizando maltodextrina, goma arábica e amido de mandioca obtiveram valores de atividade de água dos pós variando entre 0,19 a 0,25. Esses valores foram próximos aos encontrados em estudo de melancia em pó encapsulada com maltodextrina que foi na faixa de 0,20 a 0,29 dependendo da concentração do agente encapsulante utilizada (QUEK et al. 2007). Foi sugerido no estudo destes autores que, esse agente encapsulante poderia alterar a superfície dos açúcares de baixo peso molecular, tais como a glicose, frutose e sacarose e ácidos orgânicos, portanto, facilitando a secagem e diminuindo a atividade de água.

Todas as amostras desidratadas da polpa e do suco encapsulado de yacon apresentaram valores de atividade de água abaixo de 0,25, indicando produtos em pó estáveis, pois possuem pouca quantidade de água disponível para o crescimento de microrganismos e reações bioquímicas e, portanto, maior vida de prateleira (FENNEMA, 1996).

3.3 Composição Química dos Produtos desidratados em pó

Na Tabela 2 encontram-se os valores de concentração dos açúcares inulina, glicose e frutose na polpa e no suco de yacon antes e depois da secagem a 70°C.

Tabela 2. Concentração de açúcares no suco encapsulado e na polpa de yacon antes e depois da secagem na temperatura de 70°C.

	Inulina (%)		Glicose (%)		Frutose (%)	
	*I	*II	*I	*II	*I	*II
Polpa	3,15±0,16 ^a	2,70±0,04 ^b	10,98±0,32 ^a	12,82±0,20 ^b	4,30±0,57 ^a	9,44±0,08 ^b
Suco	1,07±0,18 ^a	0,90±0,01 ^b	3,30±0,28 ^a	3,51±0,16 ^b	2,99±0,18 ^a	3,55±0,04 ^b

*I Antes da secagem

**II Depois da secagem a 70°C

Valores expressos da Média ± Desvio Padrão da Média. Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 2 observou-se que, após secagem, os teores de inulina para os dois produtos diminuíram, enquanto, as concentrações de glicose e de frutose aumentaram significativamente. Esses resultados podem indicar a possível hidrólise da inulina em açúcares simples. Graefe et al. (2004) também reportaram a hidrólise da inulina em açúcares redutores nas raízes de yacon. Em estudo sobre a formação de gel de inulina, o uso de altas temperaturas (superiores a 80°C) mostrou a hidrólise das moléculas deste polissacarídeo em açúcares simples e esta conversão foi maior à medida que a temperatura aumentou (KIM et al., 2001). O aumento na concentração dos açúcares redutores pode estar relacionada com a atividade enzimática no produto, uma vez que o yacon não foi branqueado.

3.4 Microscopia

As amostras desidratadas do suco encapsulado e da polpa de yacon foram observadas em microscópio eletrônico de varredura buscando informações da microestrutura dos produtos em pó obtidos por secagem a temperatura de 70°C.

A Figura 6 apresenta as imagens microscópicas do suco de yacon encapsulado com amido de milho.

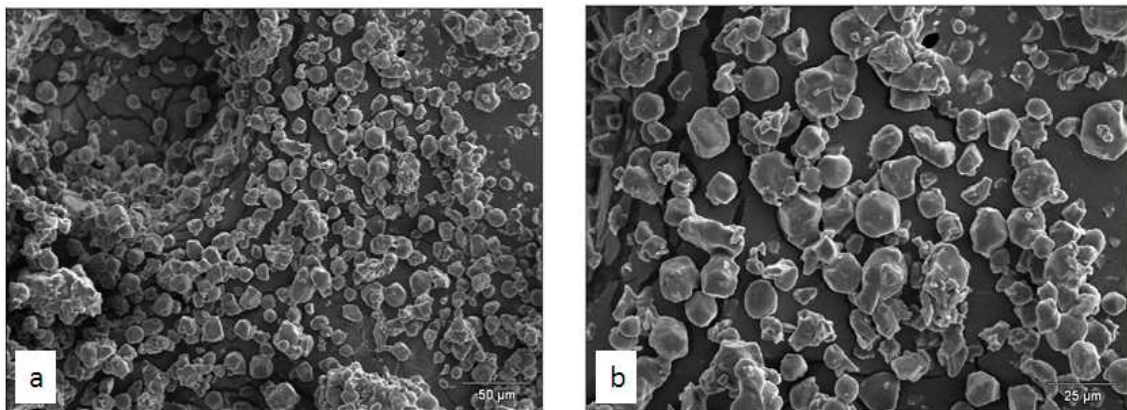


Figura 6. Imagem microscópica do suco de yacon encapsulado a 70°C (a) Imagem com aumento de 350x (b) Imagem com aumento de 700x.

Observa-se que o pó de suco encapsulado de yacon é formado por grânulos de amido de tamanho variado, não sendo observada danificação devido a temperatura empregada. Os grânulos de amido apresentaram em sua maioria, superfície lisa, havendo algumas partículas com superfície levemente rugosa. Segundo Rosenberg et al. (1985) a formação de microestruturas com superfícies rugosas é indesejável, uma vez que, afeta as condições de escoamento do material.

Também se pode visualizar uma tendência de aglomeração das partículas menores em torno das partículas de maior diâmetro. De acordo com Peleg (1973), esta preferência ou afinidade por tais partículas, deve-se, provavelmente, a força de

atração existente entre pontes líquidas que se formaram pela dissolução de camadas exteriores das partículas. Essa aglomeração também foi visualizada em estudo de suco de manga em pó encapsulada com maltodextrina, goma arábica e amido ceroso (CANO-CHAUTA et al., 2005) e suco de açaí em pó encapsulado com maltodextrina, goma arábica e amido de mandioca (TONON et al., 2009a).

Conforme Tonon et al. (2009), ao estudar o encapsulamento de açaí na secagem mediante atomização a estrutura das partículas atomizadas apresentaram superfície enrugada devido à baixa temperatura de entrada de ar (140°C) utilizada, levando a transferência de calor mais lenta e resultando em partículas com crosta mais maleável. Nogueira (2002) estudou o efeito das temperaturas de entrada e saída de ar de secagem e da adição de agentes encapsulantes sobre a microestrutura de inulina em pó e observou que, produtos secos a temperatura de entrada de 130°C, apresentaram microestrutura com rugas em toda a extensão da superfície. Com o aumento da temperatura para 200°C observou estruturas com superfície externa mais homogênea apresentando leve rugosidade.

A presença de grânulos de amido de milho em toda a extensão da imagem microscópica indica bom encapsulamento por este agente. Ao observar a Figura 6b não se visualiza estruturas do açúcar inulina semelhantes às encontradas na Figura 7a, mostrando que o amido agiu como bom agente encapsulante, uma vez que revestiu totalmente o material a ser protegido (suco de yacon).

A Figura 7 mostra a estrutura microscópica do pó obtido da secagem da polpa de yacon.

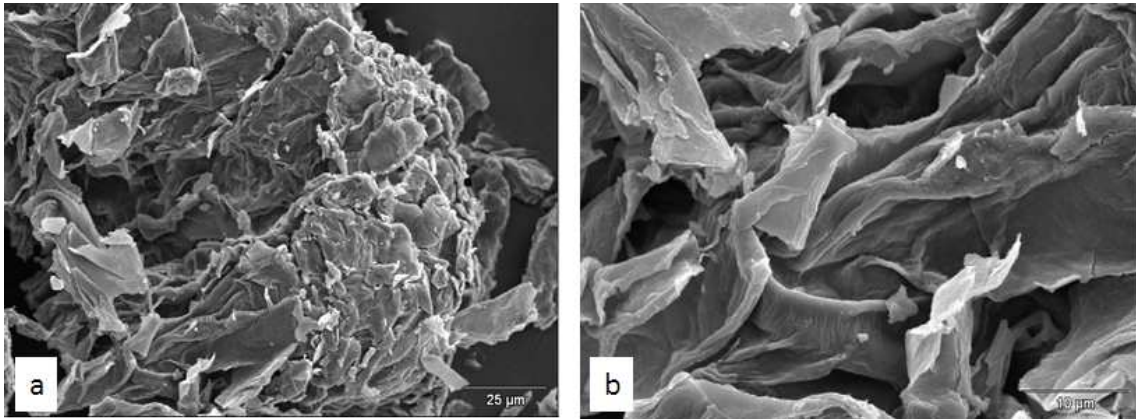


Figura 7. Imagem microscópica da polpa de yacon desidratada a 70°C (a) Imagem com aumento de 800x (b) Imagem com aumento de 2500x.

O pó da polpa apresenta uma forte tendência à aglomeração provavelmente devido a sua alta higroscopicidade. No caso de pós de frutas, os açúcares (sacarose, glicose e frutose) são responsáveis por fortes interações com a molécula de água em razão dos terminais polares presentes nessas moléculas (JAYA e DAS, 2004). Simatos e Blond (1975) relatam que o caráter higroscópico dos pós com alto teor de açúcar, é atribuído ao seu estado amorfo.

Analisando as imagens obtidas do pó da polpa de yacon, verifica-se a presença de estruturas alongadas e com pontas. Nogueira (2002) observou microscopicamente uma amostra de inulina de cadeia longa PA (Fluka-BioChemika 57614) e obteve imagem com estas mesmas características. A semelhança nas estruturas desta inulina comercial com a do pó de polpa de yacon confirma a presença de inulina no produto em pó.

A atividade de água da polpa de yacon desidratada na forma de pó foi de 0,13. Ronkart et al. (2006) ao estudarem amostras de inulina comercial em pó armazenadas em ambientes com diferentes umidades relativas, observaram que para atividades de água de até 0,33 a temperatura de 20°C, o material permaneceu sobre a forma de pó; a partir da atividade de água de 0,56, o produto encolhe e forma uma massa aglomerada.

3.5 Transição Vítrea

Na Figura 8 aparecem os termogramas obtidos através de análise de DSC mostrando o fluxo de energia em função da temperatura para o suco de yacon em pó desidratado a 50, 60 e 70°C e para a polpa de yacon em pó desidratada a 70°C, e na Tabela 3 os valores da temperatura de transição vítrea (T_g) e os valores de atividade de água (a_w) das amostras.

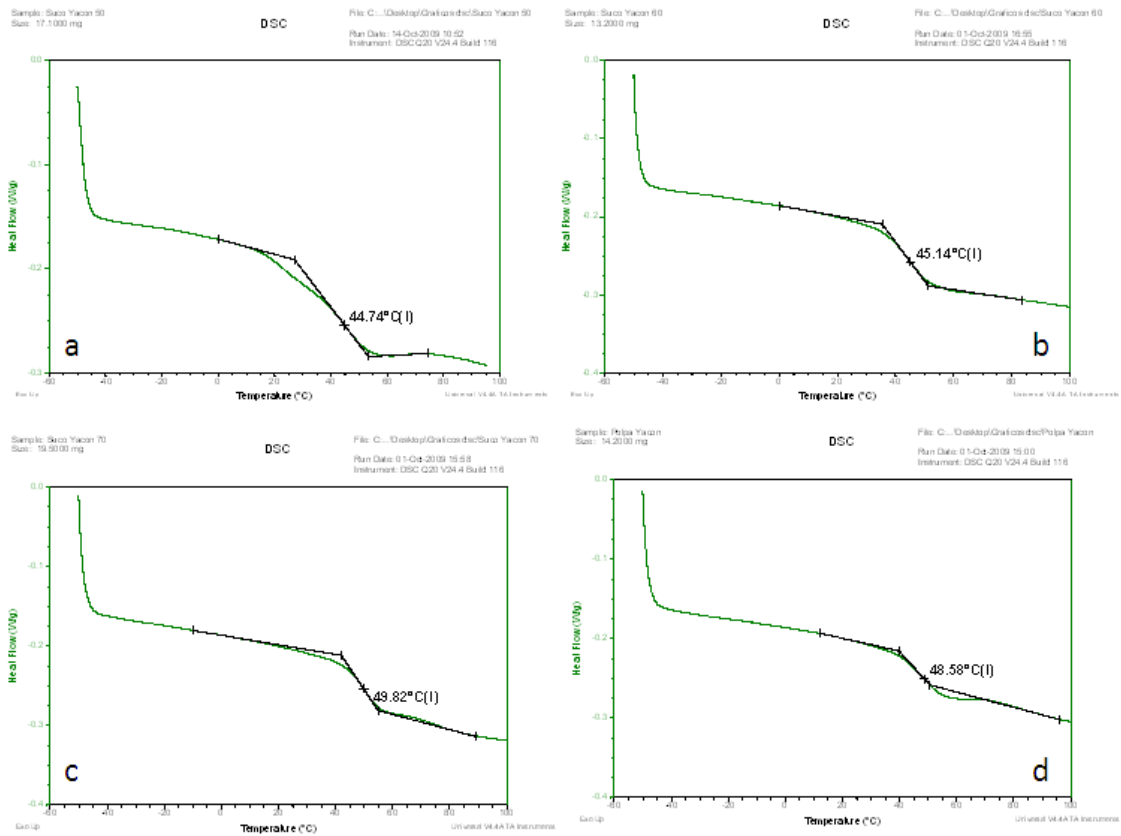


Figura 8. Termogramas de Transição vítrea (a) Suco em pó encapsulado a 50°C; (b) Suco em pó encapsulado a 60°C; (c) Suco em pó encapsulado a 70°C e (d) Polpa em pó a 70°C.

Tabela 3. Temperatura de Transição Vítrea do suco encapsulado em pó desidratado a 50, 60 e 70°C e da polpa de yacon em pó desidratada a 70°C.

Tratamento	T _g (°C)	Aw
Suco desidratado 50°C	44,74	0,15
Suco desidratado 60°C	45,14	0,07
Suco desidratado 70°C	49,82	0,03
Polpa desidratada 70°C	48,58	0,13

O suco encapsulado e desidratado a 70°C com menor valor de atividade de água (0,03) teve valor de Tg maior (49,82°C), enquanto o suco encapsulado com atividade de água de 0,15 apresentou a menor temperatura de transição vítrea (44,74°C), ou seja, a temperatura de transição vítrea diminuiu com o aumento da quantidade de água no produto. Quanto à polpa de yacon desidratada esta apresentou temperatura de transição vítrea de 48,58°C em atividade de água de 0,13. Produtos amorfos, em geral, sofrem efeito de plasticização pela água, o teor de água tem forte influência sobre a temperatura de transição vítrea; a água provoca uma redução na Tg de polímeros alimentícios (SLADE e LEVINE, 1991) e mesmo traços de água podem significar reduções no valor da Tg (LEITE et al., 2005). A temperatura de transição vítrea (Tg) é principalmente função do conteúdo de umidade do produto, do peso molecular dos componentes e da natureza da matéria seca em um determinado alimento (ROSS, 1995; BAI et al., 2001).

Ronkart et al. (2009) no estudo da inulina obtida por atomização, encontraram que o diagrama de estado de Tg – teor de água apontou três zonas: zona I delimitada como um estado vítreo amorfo, zona II definida como um estado intermediário entre amorfo vítreo e inulina cristalizada e na zona III o produto cristalizado e endurecido.

A água é o plasticizante mais eficaz em matrizes de alimentos, capaz de diminuir a temperatura de transição vítrea e a resistência mecânica e determinando um efeito de amolecimento com o aumento da sua concentração (PITTIA e SACCHETTI, 2008); ocorre redução na sua viscosidade e um conseqüente aumento exponencial na mobilidade molecular (LEITE et al., 2005). A plasticização implica na íntima compatibilidade de mistura a nível molecular, de modo que um plasticizante é

homogeneamente misturado em um polímero ou um polímero em um plasticizante (SLADE et al., 1993).

O efeito da plasticizante da água no decréscimo da temperatura de transição vítrea foi demonstrado por Telis e Sobral (1999) ao estudar a temperatura de transição vítrea de abacaxi liofilizado obtendo valores de -58,2; -36,5 e 46°C para atividades de água de 0,90; 0,65 e 0,11 respectivamente. O açaí encapsulado com amido de mandioca apresentou Tg's de -56,62; 31,33 e 73,95 para atividade de água de 0,84; 0,529 e 0,112 respectivamente (TONON et al., 2009a). A predição da depressão da Tg como resultado da plasticização pela água é útil na avaliação dos efeitos da composição dos alimentos sobre a Tg, uma vez que as alterações relacionadas à transição vítrea podem afetar o tempo de vida útil e a qualidade (ROSS et al., 1996).

Os produtos alimentícios em pó, que contém carboidratos amorfos, podem passar por mudanças físicas, tais como: cristalização, pegajosidade e compactação durante o processamento, manipulação e estocagem. (LEVINE e SLADE, 1986) estas mudanças físicas em materiais desidratados estão diretamente relacionadas à temperatura de transição vítrea.

Quando a temperatura do produto desidratado está acima da Tg ocorre o colapso ou encolhimento. A pegajosidade, compactação e cristalização são fenômenos relacionados ao colapso que ocorre quando uma matriz não pode mais suportar seu próprio peso levando a mudanças estruturais demonstrado por uma diminuição no volume e aglomeração de pós secos contendo carboidratos amorfos (LEVINE e SLADE, 1986). De acordo com Collares e Finzer (2002) a compactação é observada quando ocorre endurecimento e redução no escoamento das partículas, que pode levar a uma pobre reidratação e dispersibilidade. Durante o colapso, a

água é liberada das regiões cristalizadas para as amorfas, o que leva à redução da viscosidade local, desse modo aumenta a taxa de cristalização dos carboidratos amorfos presentes. Em estudo realizado com pós liofilizados de glicose, frutose e galactose foi demonstrado que o mecanismo de colagem e endurecimento destes açúcares amorfos é através de mudança de fase de um estado vítreo para um estado borrachoso em temperaturas acima da Tg (FOSTER et al., 2006).

4 CONCLUSÃO

O processo de secagem do suco encapsulado com amido e da polpa de yacon indicou que quanto maior a temperatura do ar da secagem, menor é o tempo para que o equilíbrio seja atingido.

Os valores de umidade no equilíbrio foram de 0,0075; 0,0030 e 0,0030 para o suco encapsulado e para a polpa de yacon foram de 0,0071; 0,0052 e 0,0050 nas temperaturas de 50, 60 e 70°C respectivamente. Todos os produtos desidratados apresentaram valores de atividade de água abaixo de 0,3, indicando a estabilidade dos pós.

A microscopia eletrônica mostrou bom encapsulamento do suco de yacon pelo agente encapsulante estudado e a presença de inulina na polpa de yacon em pó.

A temperatura de transição vítrea foi de 44,74; 45,14 e 49,82°C para as amostras de suco encapsulado em pó cujas atividades de água foram de 0,15; 0,07 e 0,03 respectivamente, onde os maiores valores de Tg foram obtidos para os produtos com menor atividade de água confirmando o efeito plasticizante da água. Para a polpa de yacon a temperatura foi de 48,78°C em atividade de água de 0,13.

REFERÊNCIAS

- AOAC. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. Washington, DC, 1990.
- AOAC. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. Washington, DC, 2000.
- BAI, Y.; RAHMAN, M. S.; PEREIRA, C. O.; SMITH, B.; MELTON, L. D. State diagram of apple slices: glass transition and freezing curves. **Food Research International**, v. 34, p. 89-95, 2001.
- BAKAN, J. A microencapsulation of foods and related products. **Food Technology**, v.17 (11), p.34-44, 1973.
- BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. **Journal of Food Engineering**, v.40, p. 71–79, 1999.
- CANO-CHAUTA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.6, p. 420-428, 2005.
- CAZETTA, M.L.; MARTINS, P.M.M.; MONTI, R.; CONTIERO, J. Yacon (*Polymnia sanchifolia*) extract as a substrate to produce inulinase by *Kluyveromyces marxianus* var. *bulgaricus*. **Journal of Food Engineering**. v. 66, p.301–305, 2005.
- COLLARES, F. P.; FINZER, J. R. D. Revisão: A Transição Vítrea em Produtos Alimentícios. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 5, p.117-130, 2002.
- COLLARES, F. P.; FINZER, J. R. D.; KIECKBUSCH, T. G. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.262–267, 2004.
- DANTAS, H. J.; SILVA, A. S.; LIMA, E. E.; FARIAS, P. A.; ANDRADE, M. A. Obtenção da polpa de jaca em pó pelo método de secagem em camada de espuma. **III Jornada Nacional da Agroindústria**, 2008.
- FENEMMA, O.R. **Water and ice**, in: O.R. Fennema (Ed.), *Food Chemistry*, 3rd ed., Marcel Dekker Inc., New York, 1996.
- FLAMM, G.; GLINSMANN, W.; KRITCHEVSKY, D.; PROSKY, L.; ROBERFROID, M. Inulin and Oligofructose as dietary fiber: a review of the evidence. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 41(5), p. 353–362, 2001.

- FOSTER, K. D.; BRONLUND, J. E.; PATERSON A. H. J. Glass transition related cohesion of amorphous sugar powders. ***Journal of Food Engineering***. v. 77, p. 997–1006, 2006.
- FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. ***British Journal of Nutrition***, v. 87, p. S287–S291, 2002.
- GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. ***Journal of Nutrition***. v. 125 (6), p.1401-1412, 1995.
- GRAEFE, S.; HERMANN, M.; MANRIQUE, I.; GOLOMBEK, S.; BUERKERT, A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. ***Field Crops Research***. v. 86, p. 157–165, 2004.
- GRAU, A.; REA, J. Yacon. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: Hermann, M., Heller, J. (Eds.), *Andean Roots and Tubers: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon. Promoting the Conservation and Use of Underutilized Crops*. IPK, Gatersleben/IPGRI, Rome, Italy, pp. 199–242, 1997.
- IBRAHIM D.; PALA, M. Hot-air drying characteristics of red pepper. ***Journal of Food Engineering***, v. 55, p.331-335, 2002.
- JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. ***Journal of Food Engineering***, v. 63, p. 125-134, 2004.
- KAYA A.; AYDIN O.; DINCER I. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch). ***Journal of Food Engineering***. v. 88, p.323–330, 2008.
- KENYON, M.M. Modified starch, maltodextrin, and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation. ***Encapsulation and controlled release of food Ingredients***, p.42-50, 1995.
- KIM, Y.; FAQIH, M.N.; WANG, S.S. Factors affecting gel formation of inulin. ***Carbohydrate Polymers***. v.46,p. 135-145. 2001.
- LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E.C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. ***Plant Soil Environ***. v.49 (6), p. 283–290, 2003.

- LEERATANARAK. N.; DEVAHASTIN, S.; CHIEWCHAN, N. Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 635-643, 2006.
- LEITE, J. T. C.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Transições de fases em alimentos: Influência no processamento e na armazenagem. **Revista Brasileira De Produtos Agroindustriais**. v. 7 (1), p. 83-96, 2005.
- LEVINE, H.; SLADE, L. A polymer physico-chemical approach to the study of commercial starch hydrolysis products (SHPs), **Carbohydrate Polymers**, v.6, p.213-244, 1986.
- LIMA, E. E.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secagem de polpa de facheiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v. 9 (1), p. 17-28, 2007.
- MANRIQUE I.; PÁRRAGA A.; HERMANN M. Jarabe de Yacón. Principios y Procesamiento. **Centro Internacional de la Papa (CIP)**. Apartado 1558, La Molina. Lima 12, Peru, 2005.
- MICHELS, I. **Aspectos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de yacón (*polymnia sonchifolia*) armazenados em embalagens com atmosfera modificada**. 2005. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MOERMAN, F. T.; VAN LEEUWEN, M. B.; DELCOUR, J. A.. Enrichment of higher molecular fractions in inulin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 3780–3783, 2004.
- NOGUEIRA, R. I. **Processo de Obtenção de Inulina de Chicória (*Chicorium intybus*) em pó**, 2002. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola. Faculdade de engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP.
- PELEG, M.; MANNHEIN, C. H.; PASS, N. Flow properties of some food powders. **Journal of Food science**, v. 38, p. 959-964, 1973.
- PELENTIR, N. **Caracterização química da farinha microencapsulada de sementes de pêssego (*Prunus persica*)**, 2007. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- PÉREZ- ALONSO, C.; BÁEZ-GONZÁLEZ, J. G.; BARISTAIN, C. I.; VERNON-CARTER, E.J.; WISCARRA-MENDOZA, M. G. Estimation of the activation

- energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray-dried microcapsules. **Carbohydrate Polymers**, v. 53, p. 197 . 2003.
- PITTIA, P.; SACCHETTI, G. Antiplasticization effect of water in amorphous foods. A review. **Food Chemistry**, v. 106, p. 1417-1427, 2008.
- QUEK, S.Y.; CHOK, N.K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. **Chemical Engineering and Processing**, v.46, p. 386–392, 2007.
- ROBERFROID, M. B. Inulin-type fructans: functional food ingredients. **Journal of Nutrition**, v.137,p. 2493S–2502S, 2007.
- ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I. J.; TALMON, Y. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. **Journal of Food Science**, v. 50 (1), p. 139-144, 1985.
- ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I.J.; TALMON, Y. Factors affecting retention in Spray drying microencapsulation of volatile materials. **Journal of Agricultural and food Chemistry**. v. 38 (5), p. 1288–1294, 1990.
- ROSS, Y. H. Characterization of food polymers using state diagrams. **Journal of Food Engineering**. v. 24 (3), p. 339-360, 1995.
- ROOS, Y. H.; KAREL, M. KOKINI, J. L. Glass transitions in low moisture and frozen foods: effects on shelf life and quality. **Food Technology**. v. 5 (11), p.95-108. 1996.
- RONKART, S.; BLECKER, C.; FOUGNIES, C.; VAN HERCK, J. C.; WOUTERS, J.; PAQUOT, M. Determination of physical changes of inulin related to sorption isotherms: An X-ray diffraction, modulated differential scanning calorimetry and environmental scanning electron microscopy study. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, p. 210-217, 2006.
- RONKART, S. N.; PAQUOT, M.; FOUGNIES, C.; DEROANNE, C.; BLECKER, C. S. Effect of water uptake on amorphous inulin properties. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 922–927, 2009.
- SANTANA, I.; CARDOSO, M.N. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidades de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38 (3), 2008.

- SACILIK, K.; ELICIN, A. K.; UNAL, U. Drying kinetics of Üryani plum in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Engineering*, v. 76, p.362-368, 2006.
- SEBHATU, T.; ANBERG, M.; AHLNECK, C. Assessment of the degree of disorder in crystalline solids. *International Journal of Pharmaceutics*, v.101, p. 237– 247, 1994.
- SHAHIDI, F. E.; HAN, X.Q. Encapsulation of Food Ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.33 (6), p.501-547, 1993
- SILVA, M.A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. *Journal of Food Engineering*, v. 77, p. 426-432, 2006.
- SIMATOS, D.; BLOND, G. The porous texture of freeze dried products. *Free-drying an advanced food technology*, v.1, p.401-411, 1975.
- 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.
- SLADE, L.; LEVINE, H. Beyond water activity: recente advances based on na alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. v.30 (2-3), p. 115-360, 1991.
- SLADE, L.; LEVINE, H.; LEVOLELLA, J.; WANG, M. The glassy state phenomenon in applications for the food industry: application of the food polymer science approach to structure-function relationships of sucrose in cookie and cracker systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 63, p.133-176, 1993.
- TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A. Previous Note: Glass Transition of Freezedried Pineapple. *Brazilian Journal Food Technology*, v. 2, p.181-184, 1999.
- TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A. Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato. *Food Research International*. v. 35, p.435-443, 2002.
- TONELI J.T.C.L.; MÜRR F.EL.X.; MARTINELLI P.; DAL FABBRO I.M.; PARK K.J. Optimization of a physical concentration process for inulin. *Journal of Food Engineering* v.80, p. 832-838, 2007.

- TONELI, J. T. C. L.; PARK, K.J.; MURR, F. E. X.; NEGREIROS, A. A. Efeito da umidade sobre a microestrutura da inulina em pó. ***Ciência e Tecnologia de Alimentos***, v. 28 (1), p.122-131, 2008.
- TONON R. V.; BARONI, A. F.; BRABET C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea Mart.*) juice. ***Journal of Food Engineering***, v. 94, p. 215-221, 2009a.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; PALLET, D.; BRAT, P.; HUBINGER, M. D. Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae Mart.*) powder produced with different carrier agents. ***International Journal of Food Science and Technology***, v. 44, p. 1950–1958, 2009.
- TUNGLAND, B. C.; E MEYER, D. Non digestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. ***Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety***, v.1,p. 73–92, 2002.
- VALENTOVÁ K.; ULRICHOVÁ J. Smallanthus Sonchifolius and Lepidium Meyenii – Prospective Andean Crops for the Prevention of Chronic Diseases - ***Biomedical Papers***. v.147 (2), p. 119–130, 2003.
- VAN DER BURGT.; Y. E. M. et al., Structural studies on methylated starch granules. ***Starch/ Starke***, v.52 (2-3), 2000.
- VILLEGAS, B.; COSTELL, E. Flow behaviour of inulin–milk beverages. Influence of inulin average chain length and of milk fat content. ***International Dairy Journal***, v. 17, p. 776–781, 2007.
- ZULETA A.; SAMBUCETTI M.E. Inulin Determination for Food Labeling. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***. v.49, p.4570-4572, 2001.

DISCUSSÃO GERAL

Para execução e cumprimento dos objetivos gerais e específicos deste trabalho de dissertação foram apresentados os resultados obtidos na forma de dois artigos científicos.

Inicialmente foi estudado o comportamento reológico, a composição química, a atividade de água e o ponto de início de congelamento do suco de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) em função da concentração (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50°Brix).

Pela quantidade de açúcares (inulina, glicose e frutose) nos sucos concentrados foi verificado que o teor de inulina aumentou de 0,51 para 1,35% quando o suco foi concentrado de 10 para 50°Brix, enquanto, os teores de glicose aumentaram de 7,8 para 22,8% e de frutose de 16,42 para 58,57% em base seca. O teor de inulina não aumentou com a concentração do suco como os outros açúcares presentes podendo ser um indicativo que este polissacarídeo esteja sendo degradado em açúcares simples durante o processo, já que os teores de glicose e frutose aumentam significativamente. Manrique et al. (2005) mencionam que à temperatura ambiente, as raízes de yacon colhidas rapidamente convertem os FOS em açúcares simples.

Com respeito à atividade de água, esta diminuiu de 0,99 para 0,93 com o aumento da concentração como já verificado em estudo de polpa de acerola concentrada (DINIZ et al., 2003); no entanto esse decréscimo só foi significativo para o suco a 50°Brix ($p < 0,05$).

Os reogramas obtidos indicaram que a taxa de deformação aumentou linearmente com a tensão de cisalhamento, não sendo observado o efeito de histerese e indicando que o fluido estudado apresenta comportamento reológico independente de tempo. Os sucos de yacon em todas as concentrações avaliadas foram caracterizados como fluidos Newtonianos. A viscosidade para cada concentração manteve-se constante independente da taxa de deformação confirmando o comportamento newtoniano, que pode ser explicado devido o suco de yacon ser despulpado e também pode contribuir neste comportamento o tipo de inulina presente no yacon, principalmente os frutooligossacarídeos de baixo grau de polimerização. Também foi observado que os valores de viscosidade aumentaram significativamente com a concentração a partir de 30°Brix, conseqüência da menor

quantidade de água no meio e essa relação pode ser descrita pela equação exponencial (1) com coeficiente de correlação de 0,99, proposto por Zuritz et al (2005).

$$\mu = 0,00068 \exp^{0,13154 \times (\text{Brix})} \quad (1)$$

O ponto de início de congelamento dos sucos, obtidos através de curvas de congelamento, variou de -3,3 a -14,8°C. Observou-se que à medida que a concentração aumentava o tempo requerido para atingir o ponto de início de congelamento também aumentava e, este foi diminuindo devido à menor quantidade de solvente. Valores próximos foram encontrados em estudo do ponto de início de congelamento de frutas onde uva com concentração de 16,70° e 21,56°Brix apresentaram ponto de início de congelamento de -3,37 e -4,39°C respectivamente (WANG et al., 2003). O ponto de congelamento de uma solução é menor que o da água pura na mesma temperatura e pressão. Isso se deve a diminuição da pressão de vapor, que segundo a lei de Raoult, está diretamente relacionada com o abaixamento do ponto de congelamento da solução (MOURA 1998). Os valores dos pontos de início de congelamento (PIC) foram relacionados com a concentração de sólidos solúveis (°Brix) através da equação linear (2) proposto por Wang et al. (2003), apresentando coeficiente de correlação de 0,96.

$$PIC = 0,94111 - 0,27767(° \text{Brix}) \quad (2)$$

Ao relacionar os dados de depressão do ponto de congelamento em função da fração mássica dos solutos se obtém a curva de equilíbrio de congelamento (CHEN, 1986), caracterizada pela equação (3):

$$\Delta T = \frac{K_0 X_s}{(1 - X_s - bX_s)M_s} \quad (3)$$

Através da equação e dos dados de depressão do ponto de congelamento do suco de yacon nas diferentes concentrações, calculou-se os parâmetros M_s que foi

de 108,71 e b que foi de -0,21. A massa molar (Ms) corresponde ao peso de todos os solutos constituintes e b é a quantidade de água congelada por peso molecular de soluto (SCHWARTZBERG, 1976), ou seja, esta água é indisponível para congelamento. Chen (1986) assumiu que a atividade de água também pode ser maior devido a interações complexas entre solutos e água e que pode ser expresso por um aumento equivalente ou diminuição da água livre. Assim, o valor de b pode ser positivo ou negativo conforme a natureza dos dados do ponto de congelamento.

Numa segunda etapa do trabalho, foi estudada a secagem em ar quente com circulação forçada do suco concentrado a 40°Brix, encapsulação com amido de milho, e da polpa de yacon. A concentração foi escolhida em função viscosidade do suco concentrado a 40°Brix contribuir para a formação dos flocos com a adição de amido e posterior secagem. Para a secagem do suco encapsulado e da polpa foi empregado secador de bandejas de ar forçado nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Através de curvas de secagem nas três temperaturas estudadas do suco encapsulado e da polpa de yacon, pode-se observar a influência da temperatura, sendo que tempos menores de secagem, para as amostras atingirem o equilíbrio, foram necessários à medida que a temperatura aumentava. Foi observado que a perda da umidade é bem rápida no início do processo e após este período a perda se torna mais lenta até atingir um valor constante, momento no qual as amostras atingem o equilíbrio. Em relação à atividade de água das amostras, esta também diminui mais rapidamente com a utilização de temperaturas mais elevadas. Para a polpa de yacon desidratada a 50 e 60°C obteve-se o mesmo valor de atividade de água no equilíbrio.

Os valores de equilíbrio em condições dinâmicas se mostram na Tabela 1, onde se observa que para os dois produtos desidratados os valores de umidade no equilíbrio a 50°C foram significativamente maiores do que a 60 e 70°C e, não havendo diferenças significativas entre as umidades a essas duas temperaturas ($p>0,05$).

Tabela 1. Umidades e atividades de água no equilíbrio do suco encapsulado e da polpa de yacon

	Temperatura de Secagem	Tempo para atingir o equilíbrio (min)	aw	Umidade Equilíbrio (bs)
Polpa	50°C	240	0,210±0,011 ^a	0,0071±0,0010 ^a
	60°C	225	0,133±0,040 ^b	0,0052±0,0017 ^b
	70°C	210	0,133±0,021 ^b	0,0050±0,0008 ^b
Suco encapsulado	50°C	255	0,150±0,010 ^a	0,0075±0,0002 ^a
	60°C	240	0,070±0,012 ^b	0,0030±0,0010 ^b
	70°C	225	0,031±0,007 ^c	0,0030±0,0014 ^b

Valores expressos da Média ± Desvio Padrão da Média. Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% de significância.

Todas as amostras desidratadas da polpa e do suco encapsulado de yacon apresentaram valores de atividade de água no equilíbrio abaixo de 0,25, o que indica produtos em pó estáveis. Para a polpa de yacon apenas na temperatura de 50°C a atividade de água foi significativamente maior que das outras temperaturas e, para o suco encapsulado a atividade de água diminuiu à medida que a temperatura foi maior, sendo este decréscimo significativo ($p < 0,05$) para todas as temperaturas.

As amostras desidratadas em pó do suco encapsulado e da polpa de yacon obtidas à temperatura de 70°C foram visualizadas em microscópio eletrônico de varredura. O pó do suco de yacon mostrou grânulos de amido de tamanho variado indicando eficiente encapsulação do material central, uma vez que não foi visualizado outro tipo de estrutura microscópica. Segundo Rosenberg et al. (1985) a caracterização morfológica das microcápsulas obtidas por encapsulamento é uma análise essencial, pois analisa se o processo de encapsulação foi eficiente ou não. A polpa em pó de yacon apresentou estruturas microscópica com formato alongado características do açúcar inulina.

A temperatura de transição vítrea (T_g) das amostras do suco encapsulado em pó obtidas as temperaturas de 50, 60 e 70°C e da polpa desidratada a 70°C foi determinada pela técnica de calorimetria diferencial de varredura (DSC). No primeiro

caso os valores de T_g foram 44,74; 45,14 e 49,82°C para as amostras do suco encapsulado em pó, cujas atividades de água corresponderam a 0,15; 0,07 e 0,03 respectivamente. Observa-se que os maiores valores de T_g foram obtidos para os produtos com menor atividade de água confirmando o efeito plasticizante da água. Para a polpa de yacon a temperatura foi de 48,78°C em atividade de água de 0,13. O açaí encapsulado com amido de mandioca apresentou T_g 's de -56,62; 31,33 e 73,95 para atividade de água de 0,84; 0,529 e 0,112 respectivamente (TONON et al., 2009). Ronkart et al. (2009) no estudo da inulina obtida por atomização, encontraram que no diagrama de estado de T_g – teor de umidade apontou três zonas: zona I delimitada como um estado vítreo amorfo, zona II definida como um estado intermediário entre amorfo vítreo e inulina cristalizada e na zona III o produto cristalizado e endurecido.

A teoria da transição vítrea ajuda na compreensão das propriedades texturais de alimentos e pode explicar as alterações que ocorrem durante o processamento e a armazenagem, tais como a pegajosidade, o empelotamento, o amolecimento e o endurecimento (ROSS e KAREL, 1991).

BIBLIOGRAFIA

- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: Aplicação á indústria de alimentos. **Alimentos e Nutrição.**, v. 16 (1), p. 89-97, 2005.
- BECKER, B. R.; FRICKE, B. A. Freezing times of regularly shaped food items. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 26 (5), p. 617-626, 1999.
- BOT, A.; ERLE, U.; VREEKER, R.; E AGTEROF, W. G. M. Influence of crystallisation conditions on the large deformation rheology of inulin gels. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 547–556, 2004.
- BRAZEL, C.S. Microencapsulation: offering solutions for the food industry. **Cereal Foods World**, v.44 (6),p.388-393, 1999.
- BIELECKA, M.; BIEDRZYCKA, E.; MAJKOWSKA, A.; JUSKIEWICZ, J.; WROBLEWSKA, M. Effect of non-digestible oligosaccharides on gut microecosytem in rats. **Food Reserch International**, v. 35, p. 139-144, 2002.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química de Processamento de Alimentos**, 3ªedição, Livraria Varela, 2001.
- BORNET, F.R.J. Non digestible sugars in food products. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 59, p.7635–7695, 1994.
- CHEN, C.S.Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods: enthalpy and apparent specific heat. **J. Food Sci.**, v. 50, p. 1158, 1985.
- CHEN, C. S. Effective molecular weight of aqueous solutions and liquid foods calculated from the freezing point depression. **Journal of Food Science.** v. 51, p. 1537, 1986.
- CHEN, C. S.; NGUYEN; BRADDOCK, R.J. Relationship between freezing point depression and solute composition of fruit juice systems. **Journal of Food Science**, v. 55 (2), p. 566-569, 1990.
- COLLARES, F. P.; FINZER, J. R. D. Revisão: A Transição Vítreia em Produtos Alimentícios. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 5, p.117-130, 2002.
- COUSSEMENT, P. A. A. Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. **Journal of Nutrition**, v., 129(7), p. 1412–1417, 1999.
- DINIZ, E.; FIGUEIREDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M. Atividade de água e condutividade elétrica de polpas de acerola concentradas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.1, p.9-17, 2003.

- DZIEZAK, J.D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technology**, v.42 (4), p.136-151, 1988.
- FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, C. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios, **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11 (2), p. 103-112, 2008
- FIGUEIRA, G.M.; PARK, K.J.; BROD, F.P.R.; HONÓRIO, S.L. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. **Journal of Food Engineering**. v. 63, p. 273–280, 2004.
- FLAMM, G.; GLINSMANN, W.; KRITCHEVSKY, D.; PROSKY, L.; ROBERFROID, M. Inulin and Oligofructose as dietary fiber: a review of the evidence. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 41(5), 353–362, 2001.
- FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, p. S287–S291, 2002.
- GIBBS, B.F. et al. Encapsulation in the food industry: a review. Int. **J. Food Sci. Nutr.**, v.50, p.213-224, 1999.
- GIBSON, R.; ROBERFROID, M. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**. v. 125 (6), p. 1401-1412, 1995.
- HARTEMINK, R.; VANLAERE, K.M.J.; ROMBOOTS, F.M. Growth of enterobacteria on fructo-oligosaccharides. **Journal of Applied Microbiology**, v.383, p.367-374, 1997.
- HAULY, M. C. O.; MOSCATTO, J. A. Inulina e Oligofrutoses: uma revisão sobre propriedades funcionais, efeito prebiótico e importância na indústria de alimentos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológica**. v. 23 (1), p. 105-118, 2002.
- JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and food industry. Food Science and Technology. **Lebensmittel – Wissenschaft & Technologie**, v. 42 (4), p.289-297, 1991.
- JIMÉNEZ, G.; DURÁN, L. Propriedades Reológicas de produtos derivados de frutas e de tomate. Revisión Bibliográfica. **Revista Agroquímica e Tecnologia de Alimentos**, v.19 (2), p.203-217, 1979.
- LABUZA, T.; ROE, K.; PAYNE, C.; PANDA, F.; LABUZA, T. J.; LABUZA, P. S.; KRUSCH, L. Storage stability of dry food systems: influence of state changes

- during drying and storage. In: **International Drying Symposium**, v. A, p.48-68, 2004.
- LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E.C.; ORSÁK, M. Yacon [Smallanthus sonchifolia (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. Czech University of Agriculture in Prague, Czech Republic. **Plant Soil Environment** v.49 (6), p. 283–290, 2003.
- LEITE, T.C. J.; PARK, K.J.; RAMALHO R.P.J.; FURLAN, M.D. **Caracterização reológica das diferentes fases de extrato de inulina de raízes de chicória, obtidas por abaixamento de temperatura**. Eng.Agrícola. v. 24 (1), 2004.
- LEITE, J. T. C.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Transições de fases em alimentos: Influência no processamento e na armazenagem. **Revista Brasileira De Produtos Agroindustriais**, v. 7 (1), p. 83-96, 2005.
- LEWIS, M.J. **Propriedades físicas dos alimentos y de los sistemas de procesado**. 1 ed. Ed. Acribia: Zaragoza, 1993.
- KING, W.; PERRY, P. Modified Starch encapsulating agents offer superior emulsification, film forming, and low surface oil. **Food Product Development**, v.10 (10), p.54-57, 1976
- MAYOR, L.; SERENO, A.M., 2004. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p.373–386, 2004.
- MANRIQUE I.; PÁRRAGA A.; HERMANN M. Jarabe de Yacón. Principios y Procesamiento. **Centro Internacional de la Papa (CIP)**. Apartado 1558, La Molina. Lima 12, Peru, 2005.
- MILO, L. Nutraceuticals and functional foods. **Food Technology**, v.58, p. 71–75, 2004.
- MOERMAN, F. T.; VAN LEEUWEN, M. B.; E DELCOUR, J. A.. Enrichment of higher molecular fractions in inulin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, 3780–3783, 2004
- MOSCATTO, J. A.; BORSATO D.; BONA E.; OLIVEIRA A. S. ; HAULY, M. C. O.The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. **International Journal of Food Science & Technology**. v 41 (2), p. 181–188, 2006.

- MOURA, S. C. S. R., **Estudo da atividade de água e da condutividade elétrica em sucos concentrados de frutas tropicais**, 1998. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- MOURA, C. P. **Aplicação de Redes Neurais para a Predição e Otimização do Processo de secagem de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) com Pré-Tratamento Osmótico**, 2004. Curitiba: UFP, 2004. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná.
- NINESS, K.R., Inulin and oligofructose: what are they? **Journal Nutrition**, v. 129. p. 1402-1406, 1999.
- ORDÓÑEZ, J. A.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. G. F.; PERALES, L.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de Alimentos**, v. 1, Arimed, 2005.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R., Estudo da secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v.21(3), 2001.
- PARK, K. J.; OLIVEIRA, R. A.; BROD, F. P. R. Drying Operational Parameters Influence on Chicory Roots Drying and Inulin Extraction. **Food and Bioproducts Processing**, v. 85, p.184-192, 2007.
- PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K., Frutooligossacarídeos: Fibras Alimentares Ativas. **Ciência Rural**. v. 33 (2), 2003.
- PITTIA, P.; SACCHETTI, G. Antiplasticization effect of water in amorphous foods. A review. **Food Chemistry**, v. 106, p. 1417-1427, 2008.
- QUEMENER, B.; THIBAUT J. F.; COUSSEMENT P. Determination of inulin and oligofructose in food products, and integration in the AOAC method for measurement of total dietary fiber. **International Journal of Biological Macromolecules**, v 21, p. 175–178, 1997.
- RAHMAN, M. S.; GUIZANI, N.; AL-KHASEIBI, M.; AL-HINAI, S. A.; AL-MASKRI, S. S.; AL-HAMHAMI, K. Analysis of cooling curve to determine the end point of freezing. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p. 653–659, 2002.
- RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**. v. 49 p. 311-319, 2001.
- RÉ, M.I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, v.16, p.1195-1236, 1998.

- REINECCIUS, G.A. Carbohydrates for flavor encapsulation. *Food Technology*, v.51 (3), p.144-146,149, 1991.
- RIBERO, G. G.; RUBIORO, A. C.; ZORILLA, S.E. Initial freezing point of Mozzarella cheese. *Journal of Food Engineering*. v. 81, p. 157-161, 2007.
- ROBERFROID, M.B. Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*, 93, 2005.
- ROBERFROID, M.; GIBSON, G.R.; DELZENNE, N.The biochemistry of oligofructose, a nondigestible fiber: na approach to calculate its caloric value. *Nutrition Reviews*,v.51(5), p.137-146, 1993.
- RONKART, S. N.; PAQUOT, M.; FOUGNIES, C.; DEROANNE, C.; BLECKER, C. S. Effect of water uptake on amorphous inulin properties. *Food Hydrocolloids*, v. 23, p. 922–927, 2009.
- ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I. J.; TALMON, Y. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. *Journal of Food Science*, v. 50 (1), p. 139-144, 1985.
- ROSENBERG, M.; KOPELMAN,I.J.; TALMON, Y. Factors affecting retention in spray drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.38 (5), p.1288-1294, 1990.
- ROOS, Y.; KAREL, M. Amorphous state and delayed ice formation in sucrose solutions. International *Journal of Food Science and Technology*. v.26 (6), p.553-566. 1991.
- SAAD, S. M. I. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 42 (1), p. 1-16, 2006.
- SANTANA, I.; CARDOSO, M.N. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidades de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. *Ciência Rural*, v. 38 (3), 2008.
- SEWARTSBERG H G. Effective heat capacities for the freezing and thawin of food *J Food Sci*. v.41, p. 153, 1976.
- SILVA, A. S. S., *A raiz do Yacon (Smallanthus sonchifollius Poepping & Endlicher) como fonte de fibras alimentares, sua caracterização físico-química, uso na panificação e sua influência na glicemia pós-prandial*, 2007. Dissertação de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

- SILVA, R.F. Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World*. St. Paul. v.41 (10), p.792-795, 1996.
- SILVA, S. V., **Desenvolvimento de iogurte probiótico com prebiótico**, 2007a. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).
- SLADE, L.; LEVINE, H. Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. v.30 (2-3), p. 115- 360. 1991.
- SCHWARTZBERG, H. G. Effective heat capacities for the freezing and thawing of food. *Journal of Food Science* v. 41. p.153, 1976.
- TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, v. 67, p. 147-156, 2005.
- TAKENAKA M.; YAN X.; ONO H.; YOSHIDA M.; NAGATA T.; NAKANISHI T. Caffeic Acid Derivatives in the Roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v.51,p. 793-796, 2003.
- TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E.; PARK, K.J. Estudo da reologia de polissacarídeos na indústria de alimentos. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.7 (2), p.181-204, 2005.
- TONON R. V.; BARONI, A. F.; BRABET C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea Mart.*) juice. *Journal of Food Engineering*, v. 94, p. 215-221, 2009.
- TUNGLAND, B. C., E MEYER, D. Non digestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v.1,p. 73–92, 2002.
- VAN LOO, J.; COUSSEMENT, P.; DE LEENHEER, L.; HOEBREGS, H. E.; SMITS, G. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. v. 35, p. 525–552, 1995.
- VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 2, p. 69-76, 2000.

- WADA, T.; SUGATANI, J.; TERADA, E.; OHGUCHI, M.; MIWA, M. Physicochemical characterization and biological effects of inulin enzymatically synthesized from sucrose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, p.1246–1253, 2005.
- WANG, J.; LITE, L.; YANG, D. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits. *Journal of Food Science*. v. 60, p.4570-4572, 2003.
- WHITE, G. W.; CAKEBREAD, S. H. The glassy state in certain sugar-containing food products. *Journal of food technology*. v.1 (1), p. 73-82. 1966.
- YAN, X.; SUZUKI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; SADA, Y.; NAKANISHI, T.; NAGATA, T. Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 47 (11), p.4711-4713, 1999.
- YUN, J.W. Fructooligosaccharides – occurrence, preparation and application. *Enzyme and Microbial Technology*, v.19, p.107-117, 1996.
- ZARDINI, E. Ethnobotanical notes on “Yacon”, *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). *Economix Boanic Bronx*. v.45, p.72-85, 1991.
- ZURITZ, C. A.; PUNTES, M. E.; MATHEY, H. H.; PÉREZ, E. H.; GASCÓN A.; RÚBIO, L. A.; CARULLO, C. A.; CHERNIKOFF, R. E.; CABEZA, M. S. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentration and temperatures. *Journal of Food Engineering*. v. 71, p. 143-149, 2005.