

BRUNA FERNANDA LOPES RODRIGUES

**ESTABILIDADE DE FRUTOOLIGOSSACARÍDEOS EM PRODUTOS DE
YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca
Central da Universidade Federal de Viçosa -
Campus Viçosa**

T

R696e
2017

Rodrigues, Bruna Fernanda Lopes, 1991-
Estabilidade de frutooligosacarídeos em produtos de
yacon (*Smallanthus sonchifolius*) / Bruna Fernanda Lopes
Rodrigues. - Viçosa, MG, 2017.
xvii, 85f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.
Orientador: José Benício Paes Chaves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. yacon. 2. frutanos. 3. prebiótico. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia de Alimentos.
Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos. II. Título.

CDD 22 ed.

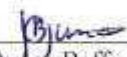
BRUNA FERNANDA LOPES RODRIGUES

ESTABILIDADE DE FRUTOOLIGOSSACARÍDEOS EM PRODUTOS
DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*)


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 09 de agosto de 2017.


Jane Sélia dos Reis Coimbra
(Coorientadora)


José Carlos Baffa Júnior
(Coorientador)


Christiane Mileib Vasconcelos


José Benício Paes Chaves
(Orientador)

“Sábio é o ser humano que tem coragem de ir diante do espelho da sua alma para reconhecer seus erros e fracassos e utilizá-los para plantar as mais belas sementes no terreno de sua inteligência.”
(Augusto Cury)

A Deus que é tudo na minha vida, senhor de todas as coisas
À minha mãe que sempre esteve ao meu lado
Aos meus irmãos que são muito especiais em minha vida
Aos meus amigos que me apoiaram nesta caminhada
Ao meu namorado que é meu companheiro de todas as horas

Dedico esta dissertação

BIOGRAFIA

Bruna Fernanda Lopes Rodrigues, filha de Edna Maria do Carmo e Antônio Carlos Rodrigues, nasceu no dia 05 de Julho 1991 na cidade de Pará de Minas, Estado de Minas Gerais.

Em março de 2010, ingressou no curso de Engenharia de Alimentos, pela Universidade Federal de Viçosa – *Campus Florestal*, graduando-se em Engenharia de Alimentos em 2014.

Atuou na gestão da metodologia *Total Productive Maintenance* (TPM) e dos indicadores de Produtividade na empresa Itambé Alimentos S/A.

Em agosto de 2015, iniciou o curso de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por estar sempre comigo em todos os momentos, por ser senhor da minha vida e pai amado.

À minha mãe pelo apoio, amor e por estar presente sempre em minha vida me ajudando em tudo, me escutando, me dando conselhos.

Aos meus irmãos Andreza e Marcus por serem meus amigos.

Ao meu namorado por ser amigo e companheiro em todos os momentos.

Aos meus amigos que sempre se preocuparam em saber como eu estava e me escutaram muito nestes dois anos.

Às companheiras de república pela convivência, pelo carinho, por terem sido uma família.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade.

Ao meu orientador José Benício Paes Chaves pela oportunidade.

Aos meus coorientadores Prof.^a Jane Sélia, Prof. Paulo César e Prof. José Carlos pela contribuição em meu trabalho.

À Doutora Christiane Mileib por ter sido atenciosa, por todos os ensinamentos, obrigada de coração.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelos ensinamentos e pela contribuição em minha formação científica.

Aos colegas do LOP por terem me recebido com tanto carinho, por terem me acolhido, por todas as ajudas e ensinamentos, Guilherme, Maurício, José Flávio, Zoila, Lucas. E à professora Jane por ter permitido a mim o uso do laboratório.

À Angélica por ter me ajudado muito para realização do meu experimento.

À Andressa e Nayara por terem me ensinado a trabalhar com o yacon, por terem me apoiado e me ajudado todas as vezes que eu estava com dificuldades, e terem disponibilizado do tempo delas para me ajudar.

A todos os amigos do Laboratório de Pigmentos e Compostos Bioativos pelos ensinamentos e auxílio nas minhas análises, Jefinho,

Juliana, Eliana. E ao professor Paulo César por ter permitido a mim o uso do laboratório.

Aos amigos do laboratório de Higiene e Microbiologia de Alimentos pelo auxílio em minhas análises, Elisângela e Camila. E ao professor Nélio por ter permitido a mim o uso do laboratório.

Aos amigos do laboratório de Embalagens de Alimentos, Miriane, pelo auxílio em minhas análises.

Aos amigos do Laboratório de Processamento de Frutas e Hortaliças, Marcela e Daniela, pelo auxílio em minhas análises. E ao professor Afonso por ter permitido a mim o uso do laboratório.

Aos amigos do Laboratório de Microbiologia de Patógenos de Origem Alimentar e Hídrica, Luana e Nélio, pelo auxílio nas análises microbiológicas. E à professora Regina por ter permitido a mim o uso do laboratório.

Aos funcionários da Fábrica de Frutas e Hortaliças pela ajuda no preparo dos meus extratos, Elvécio e José Geraldo.

Ao corpo docente do *Campus* Florestal que foram a minha base e me incentivaram muito.

À professora Pollyanna Cardoso que sempre foi um grande exemplo para mim.

À secretária da Pós-graduação, Lorena, pelos esclarecimentos e pela ajuda.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
OBJETIVO GERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO 1	6
1. REVISÃO DE LITERATURA	6
1.1.Características gerais do yacon	6
1.2.Fruooligossacarídeos	9
1.2.1. Fatores que influenciam a degradação de FOS	11
1.2.1.1. Influência do pH e da temperatura	12
1.2.1.2. Influência da atividade de água	15
1.2.1.3.Influência do controle de escurecimento enzimático na estabilidade do FOS	19
1.3.Influência da técnica de extração de Fruooligossacarídeos por ultrassom	20
1.4.Fermentação de yacon	21
2.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO 2	31
Influência da forma de preparo e da adição de agentes anti - escurecimento na estabilidade de FOS em extrato aquoso de yacon	31
1.INTRODUÇÃO	31
2.MATERIAIS E MÉTODOS	33
2.1. Delineamento Experimental	33
2.2.Preparo das raízes do yacon	33
2.3.Preparo dos extratos aquosos de yacon	34
2.3.1.Preparo do extrato aquoso de yacon por imersão em solução anti- escurecimento	34

2.3.2.Preparo do extrato aquoso de yacon por branqueamento em solução anti-escurecimento	36
2.4.Determinação do pH dos extratos aquosos de yacon	38
2.4.1.Análise microbiológica	38
2.5.Análise instrumental de cor dos extratos aquosos de yacon	38
2.6.Quantificação de sacarose, glicose, frutose e manitol dos extratos aquosos de yacon.....	38
2.7.Determinação de frutanos totais dos extratos aquosos de yacon	39
2.8.Análise estatística	40
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1. Valores de pH dos extratos aquosos de yacon	41
3.2. Análise instrumental de cor dos extratos aquosos de yacon	46
3.3. Proporções de FOS, sacarose, glicose e frutose dos extratos aquosos de yacon.....	53
4. CONCLUSÃO	60
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
CAPÍTULO 3	65
Influência da concentração e secagem do extrato aquoso de yacon na estabilidade dos FOS	65
1. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAIS E MÉTODOS	66
2.1. Delineamento Experimental.....	66
2.2. Preparo do extrato aquoso de yacon.....	66
2.2.1. Redução de água do extrato aquoso de yacon.....	67
2.3. Quantificação de sacarose, glicose, frutose e Fos dos produtos de yacon.....	68
2.4. Determinação da atividade de água dos produtos de yacon.....	69
2.5. Determinação do teor de umidade dos produtos de yacon.....	69
2.6. Análise de sólidos solúveis	69
2.7. Cálculo em base seca.....	70
2.8. Análise Estatística	70
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4. CONCLUSÃO	76

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CONCLUSÃO GERAL	79
MATERIAL COMPLEMENTAR	80

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Raízes Tuberosas de Yacon..... 6
Figura 2 - Principais frutooligossacarídeos 10

CAPÍTULO 2

- Figura 3 - Fluxograma de produção do extrato aquoso de yacon por imersão em solução anti-escurecimento..... 35
Figura 4 - Fluxograma de preparo do extrato aquoso de yacon utilizando branqueamento em solução anti-escurecimento..... 37
Figura 5 - Placas de ágar MRS contendo extrato aquoso de yacon tratado com cisteína – Contagem total de bactérias lácticas 44
Figura 6 - Imagem microscópica de lâmina de coloração de Gram..... 44
Figura 7 - Valores de luminosidade nos extratos produzidos com diferentes agentes ao longo do tempo de armazenamento 47
Figura 8 - Extratos controle produzidos por imersão e branqueamento ao longo do tempo de armazenamento. 49
Figura 9 - Extratos produzidos com ácido ascórbico por imersão e branqueamento ao longo do tempo de armazenamento. 50
Figura 10 - Extratos produzidos com ácido cítrico por imersão e branqueamento ao longo do tempo de armazenamento..... 50
Figura 11 - - Extratos produzidos com ácido tartárico por imersão e branqueamento ao longo do tempo de armazenamento. 51
Figura 12 - Extratos produzidos com cisteína por imersão e branqueamento durante tempo de armazenamento..... 53
Figura 13 - Variação do conteúdo de FOS nos extratos aquosos com o tempo..... 57
Figura 14 - Produção de manitol nos extratos aquosos de yacon, nas amostras preparadas com cisteína ou controle, em ambos os métodos de preparo, imersão e branqueamento..... 58

CAPÍTULO 3

- Figura 15 - Extratos aquosos de yacon concentrado a vácuo..... 71
Figura 16 - Extratos aquosos de yacon seco a vácuo e liofilizado..... 71

Figura 17 - Conteúdo de FOS nos produtos ao longo do tempo	73
Figura 18 - Variação do conteúdo de glicose nos produtos com o tempo.....	74
Figura 19 - Variação do conteúdo de frutose nos produtos ao longo do tempo.....	74
Figura 20 - Variação do conteúdo de sacarose nos produtos com o tempo.....	75

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Estudos sobre os efeitos do pH e temperatura sobre as cadeias de FOS	14
Tabela 2 - Estudos sobre o efeito do tempo de armazenamento sobre as cadeias de FOS.....	15
Tabela 3 - Estudos de diferentes processos de secagem de yacon	18

CAPÍTULO 2

Tabela 4 - Médias e desvios padrão do pH entre os diferentes agentes nos extratos aquosos de yacon preparados por imersão.....	41
Tabela 5 - Equações de regressão da variação do pH nos extratos aquosos de yacon produzidos por branqueamento ou imersão em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e níveis de probabilidade (p).	43
Tabela 6 - Equações de regressão da variação do pH nos extratos aquosos de yacon tratados ou não com diferentes agentes anti-escurecimento em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e níveis de probabilidade (p).	45
Tabela 7 - Médias e desvios padrão de L nos extratos aquosos de yacon preparados com diferentes agentes anti-escurecimento.....	46
Tabela 8 - Médias e desvios padrão do conteúdo de C nos extratos aquosos de yacon preparados com branqueamento ou imersão.....	47
Tabela 9 - Médias e desvios padrão de h e IE entre os diferentes agentes nos extratos aquosos de yacon preparados por imersão e branqueamento.	48
Tabela 10 - Equações de regressão da variação de h, IE, C nos extratos aquosos de yacon tratados ou não com diferentes agentes anti-escurecimento em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e níveis de probabilidade (p).	51

Tabela 11 - Médias e desvios padrão da proporção remanescente de FOS, glicose, frutose e sacarose nos extratos aquosos de yacon para o efeito preparo.....	54
Tabela 12 - Médias e desvios padrão (DP) na proporção remanescente de sacarose nos	55
Tabela 13 - Equações de regressão da variação de sacarose nos extratos aquosos de yacon tratados ou não com diferentes agentes anti-escurecimento em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficiente de determinação (R^2) e níveis de probabilidade.....	56
Tabela 14 - Equações de regressão da variação de Glicose e Sacarose nos extratos aquosos de yacon produzidos por branqueamento ou imersão em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficiente de determinação (R^2) e níveis de probabilidade (p).	56
CAPÍTULO 3	
Tabela 15 - Teor de Umidade e atividade de água dos produtos	72

RESUMO

RODRIGUES, Bruna Fernanda Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2017. **Estabilidade de frutooligossacarídeos em produtos de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. Orientador: José Benício Paes Chaves. Coorientadores: Jane Sélia dos Reis Coimbra, José Carlos Baffa Junior e Paulo César Stringheta.

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma raiz que apresenta características funcionais, pois possui 67% da sua massa seca composta por frutooligossacarídeos (FOS). FOS são polímeros de frutose que comportam-se como fibras dietéticas no organismo, conferindo ao yacon características prebióticas que podem ser prejudicadas pela hidrólise das moléculas de FOS. Assim o presente estudo teve como objetivos (i) avaliar a estabilidade do teor de FOS, glicose, sacarose e frutose, o pH e os parâmetros de cor L, h, IE e C no extrato aquoso de yacon preparado por imersão e branqueamento e com diferentes agentes anti-escurecimento (ácido tartárico, ácido ascórbico, ácido cítrico e cisteína), ao longo do tempo de armazenamento e (ii) avaliar a estabilidade dos carboidratos nos extratos em forma de pó (liofilizado e seco a vácuo) e no extrato na forma de xarope (concentrado a vácuo). O valor do pH foi dependente do tipo de agente para os extratos produzidos por imersão, sendo os menores valores encontrados nos ácidos cítrico e tartárico. Ocorreu uma redução do pH ao longo do tempo nos extratos produzidos por branqueamento e naqueles produzidos por imersão. Foi constatado contagem de bactérias lácticas em um dos extratos ao qual ocorreu queda de pH, indicando a ocorrência da fermentação. Os extratos produzidos com os diferentes agentes em valores de pH iniciais acima de 4 também apresentaram variação de pH significativa com o tempo. Em relação à análise de cor, a luminosidade foi dependente do tipo de agente, sendo que o menor valor foi atribuído ao extrato controle que apresentou coloração próxima ao preto. Houve também alteração de L com o tempo, principalmente no extrato controle que variou de 48 para 40. Os extratos obtidos via branqueamento apresentaram maior saturação do que aqueles preparados por imersão. Os valores de tonalidade foram em torno de 90° o que caracteriza tonalidade próxima ao amarelo. Os ácidos cítricos e

tartárico foram os que apresentaram maior tonalidade. Para o índice de escurecimento o maior valor médio foi o do extrato controle, 44. Os agentes ácidos, cítrico e tartárico, exibiram menores valores médios de IE, 14 e 12 respectivamente. Os extratos com cisteína apresentaram uma redução dos valores dos índices IE e C com o aumento do tempo de armazenamento. Para o conteúdo de carboidratos houve um maior valor médio da proporção de FOS nos extratos preparados por branqueamento bem como menor média dos outros açúcares. Isto sugere maior hidrólise de FOS no preparo por imersão, com conseqüente aumento de frutose. Nos extratos contendo cisteína e no controle as concentrações de sacarose foram residuais. Houve uma redução da sacarose com o tempo para o extrato controle e para os extratos produzidos por branqueamento, estes últimos também apresentaram redução de glicose ao longo do tempo. Houve uma tendência de redução da proporção remanescente de FOS com o tempo. Nos extratos produzidos com cisteína e no controle ocorreu produção de manitol durante o armazenamento para os dois tipos de preparo. O extrato produzido por branqueamento com ácido tartárico foi o escolhido para ser submetido às operações da segunda etapa. Foram obtidos (i) o extrato concentrado 46,97% FOS (b.s.), (ii) o extrato em pó seco a vácuo 41,94% FOS (b.s.) (iii) o extrato em pó, liofilizado 39,5 % FOS (b.s.) e o (iv) extrato in natura 42,69% FOS (b.s.). Provavelmente houve hidrólise das cadeias com maior grau de polimerização na operação de concentração, pois esta apresentou conteúdo de FOS maior que o extrato in natura. A estabilidade dos carboidratos foi independente do tipo de operação aplicada ao extrato, nos resultados analisados ao longo de um período de 30 dias de armazenamento.

ABSTRACT

RODRIGUES, Bruna Fernanda Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2017. **Stability of fructooligosaccharides in yacon products (*Smallanthus sonchifolius*)**. Adviser: José Benício Paes Chaves. Co-advisers: Jane Sélia dos Reis Coimbra, José Carlos Baffa Junior and Paulo César Stringheta.

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is a root with functional characteristics, since it has 67% of its dry mass composed of fructooligosaccharides (FOS). FOS are polymers of fructose that behave like dietary fibers in the organism, conferring to the yacon prebiotic characteristics that can be harmed by the hydrolysis of the FOS molecules. The objective of this study was to evaluate the stability of the FOS, glucose, sucrose and fructose content, pH and color parameters L, h, IE and C in the aqueous extract of yacon prepared by immersion and bleaching and with (tartaric acid, ascorbic acid, citric acid and cysteine) throughout the storage time and (ii) to evaluate the stability of the carbohydrates in the extracts in the form of powder (lyophilized and dried under vacuum) and in the extract in the syrup (vacuum concentrate). The pH value was dependent on the type of agent for the extracts produced by immersion, with the lowest values found in citric and tartaric acids. There has been a reduction in pH over time in the extracts produced by bleaching and in those produced by immersion. It was observed a count of lactic bacteria in one of the extracts to which the pH drop occurred, indicating the occurrence of the fermentation. The extracts produced with the different agents at initial pH values above 4 also showed significant pH variation with time. Regarding the color analysis, the luminosity was dependent on the type of agent, and the lowest value was attributed to the control extract, which showed coloration close to black. There was also a change in L over time, especially in the control extract, which varied from 48 to 40. The extracts obtained by bleaching presented higher saturation than those prepared by immersion. The values of tonality were around 90° which characterizes tonality close to yellow. The citric and tartaric acids presented the highest tonality. For the darkening index the highest average value was the control extract, 44. The acidic agents, citric and tartaric, had

lower mean values of IE, 14 and 12, respectively. The extracts with cysteine presented a reduction of the values of the IE and C indexes with the increase of the time of storage. For the carbohydrate content there was a higher average value of the proportion of FOS in the extracts prepared by bleaching as well as lower average of the other sugars. This suggests higher FOS hydrolysis in the dip preparation, with consequent increase in fructose. In the extracts containing cysteine and in the control the sucrose concentrations were residual. There was a reduction of the sucrose over time for the control extract and for the extracts produced by bleaching, the latter also showed reduction of glucose over time. There was a tendency to reduce the remaining proportion of FOS over time. In the extracts produced with cysteine and in the control occurred mannitol production during the storage for the two types of preparation. The extract produced by bleaching with tartaric acid was chosen to undergo the operations of the second step. The extracts were dried in vacuo and dried in vacuo. They were obtained (i) the concentrated extract 46.97% FOS (bs), (ii) the vacuum dry powder extract 41.94% FOS (bs) (iii) the freeze-dried powdered extract 39.5% FOS and (iv) in natura extract 42.69% FOS (bs). Probably there was hydrolysis of the chains with the highest degree of polymerization in the concentration operation, since this presented higher FOS content than the in natura extract. The carbohydrate stability was independent of the type of operation applied to the extract, in the results analyzed over a period of 30 days of storage.

INTRODUÇÃO GERAL

Alimentos funcionais são aqueles usados como parte de uma dieta normal que demonstram benefícios fisiológicos e / ou reduzem o risco de doenças crônicas, além de suas funções básicas de nutrição (COSTA & ROSA, 2010). O potencial de mercado global para alimentos e bebidas funcionais foi estimado em US\$ 192 bilhões até 2020 (KAUR & SINGH, 2017).

Um alimento pode conter naturalmente características funcionais ou estas podem ser adicionadas, em seu processamento, por meio de ingredientes (MATUSEK et. al., 2009). O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma raiz que apresenta naturalmente características funcionais, pois possui elevada quantidade de frutooligossacarídeos (FOS), sendo que, 90% da massa seca é composta por carboidratos e desta cerca de 67%, por FOS (VALENTOVÁ & ULRICHOVÁ, 2003). O consumo de yacon está associado a benefícios à saúde como controle dos níveis de colesterol e redução da absorção de glicose (VANINI et. al., 2009).

Os frutooligossacarídeos são polímeros de frutose que podem ou não conter uma molécula de glicose em sua estrutura. As moléculas de frutose são unidas por ligações β (2 \rightarrow 1), que não são hidrolisadas no intestino humano, por isso comportam-se como fibras dietéticas no organismo, conferindo ao yacon características prebióticas. Por apresentarem baixo valor calórico e grande poder edulcorante são uma alternativa ao emprego da sacarose no desenvolvimento de produtos de baixo valor calórico, principalmente, destinados aos consumidores diabéticos (LACHMAN; FERNÁNDEZ; ORSÁK, 2003).

Porém, ao produzir alimentos adicionados de yacon, a rotulagem e indicação de propriedades prebióticas devem ser tratadas com cuidado, pois as cadeias de FOS são instáveis em determinadas condições de processamento e armazenamento. Estas podem ser hidrolisadas em moléculas de glicose e frutose, o que leva à perda de suas características funcionais e aumento do valor calórico do alimento (MATUSEK et. al., 2009).

Os produtos formados e a velocidade da hidrólise das cadeias de FOS dependem das condições utilizadas no processamento como pH (L'HOMME et al., 2003; MATUSEK et al., 2009), matriz alimentar (VEGA & ZUNIGA-HANSEN, 2015), grau de polimerização dos frutooligossacarídeos (VEGA &

ZUNIGA-HANSEN, 2015; BLECKER et. al., 2002; TOPOLSKA, 2016), temperatura (L'HOMME et. al., 2003; MATUSEK et. al., 2009; SCHER; RIOS; NOREÑA, 2009; CAMPOS; AGUILAR-GALVEZ; PEDRESCHI, 2016) e tempo de armazenamento (GRAEFE et. al., 2004; TOPOLSKA, 2016).

A temperatura e o pH são fatores de grande influência no controle da estrutura das cadeias de FOS. Alguns estudos relatam a estabilidade de FOS sob altas temperaturas (VAN LOO et. al., 1999; MOURA, 2004; HERMANN; PÁRRAGA; MANRRINQUE, 2005) e pH baixo (HERMANN; PÁRRAGA; MANRRINQUE, 2005). Entretanto, é também descrito que FOS: (i) são instáveis em temperaturas elevadas (maiores que 80 °C) (L'HOMME et al., 2003; MATUSEK et al., 2009; SCHER; RIOS; NOREÑA, 2009; CAMPOS; AGUILAR-GALVEZ; PEDRESCHI, 2016); (ii) são instáveis em condições ácidas (pH < 4) (L'HOMME et al., 2003; MATUSEK et al., 2009); (iii) são estáveis em condições de pH entre 7 e 9 (L'HOMME et al., 2003; MATUSEK et al., 2009); e (iv) diminuem a degradação quando armazenados sob refrigeração, mas perdem a estabilidade estrutural da molécula com o tempo de estocagem (GRAEFE et. al., 2004).

Outro fator que afeta a estrutura das cadeias de FOS é a atividade de água. Portanto, deve ser controlada também. A redução da atividade de água pode auxiliar no controle das reações bioquímicas que modificam o tamanho das cadeias. Porém, para reduzir a atividade de água é preciso controlar a temperatura, uma vez que os FOS são termo instáveis (LOPES, et. al.; 2015).

A vantagem dos produtos de yacon com baixo teor de água está relacionada ao aumento da vida útil, maior aplicabilidade como ingrediente, e oferta do produto independente da safra (RODRIGUES et. al., 2011).

Tendo em vista os benefícios relacionados ao consumo de yacon, é importante buscar estratégias que aumentem sua vida útil e preservem seu conteúdo de fibras funcionais, que pode ser reduzido devido à instabilidade dos FOS, além de outras características como cor e pH. Assim, o presente estudo tem como objetivo determinar as melhores condições de processamento para preservação dos FOS de extrato aquoso de yacon durante o armazenamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLECKER, C.; FOUGNIES, C.; HERCK, J. V.; CHEVALIER J. P.; PAQUOT, M. Kinetic Study of the Acid Hydrolysis of Various Oligofructose. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 6, 1602-1607, 2002.
- CAMPOS, D.; AGUILAR-GALVEZ, A.; PEDRESCHI, R. Stability of fructooligosaccharides, sugar and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. International. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n.5, p. 1177- 1185, 2016.
- COSTA, N.M.B.; ROSA, C.O.B. **Alimentos Funcionais: Componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. Rio de Janeiro: Rubio, 2010. 536 f.
- GRAEFE S.; HERMANN, M.; MANRIQUEB, I.; GOLOMBEKA, S.; BUERKERT, A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v. 86, n 2-3, p.157-165, 2004.
- HERMANN, M. PÁRRAGA, A.; MANRRINQUE, I. **Yacon syrup: principles and processing**. Lima: Centro Internacional de La Papa (CIP). 2005.
- KAUR, N.; SINGH, D.P. Deciphering the consumer behaviour facets of functional foods: A literature review. **Appetite**, v. 112, p. 167 – 187, 2017.
- L'HOMME, C.; ARBELOT, M.; PUIGSERVER, A.; BIAGINI, A. Kinetics of hydrolysis of fructooligosaccharides in mineral-buffered aqueous solutions: Influence of pH and temperature. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n.1, p.224-228, 2003.
- LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. **Plant, Soil and Environment**, v. 49, n.6, p. 283-290, 2003.
- LOPES, F. J. ; MELLO, R. E.; ALVES, G. E.; MENDONÇA, K. S.; SILVA, K.C.R.; CORRÊA, J. L. G.. **Ajuste de modelos semiteóricos para predição de cinética de secagem de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. Congresso Brasileiro de sistemas particulados. Anais... São Carlos. São Paulo: 2015.
- MATUSEK, A; MERÉSZ, P.; LE, T. K. D.; ÖRSI, F. Effect of temperature and pH on the degradation of fructooligosaccharides. **European Food Research and Technology**, v.228, n.3, p. 355-365, 2009.

- MOURA, C.P. **Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de yacon (*Polymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004, 115p.
- RODRIGUES F. C.; CASTRO, A. S. B.; MARTINO, H. S. D.; FERREIRA, C. L. L. F. Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 3, p. 3-8, 2011.
- 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 na Technology**, v.44, n.11,p.2169-2175, 2009.
- TOPOLSKA, K.; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, A.; FLORKIEWICZ, A.; CIESLIK, E. . Fructan stability in dependence on their source and the period of storage. **European Food Research and Technology**, p. 1-9, 2016.
- VALENTOVÁ, K.; ULRICHOVÁ, J. Smallanthus sonchifolius and lepidium meyenii – prospective andean crops for the prevention of chronic diseases. **Biomedical Papers**, v. 147, n.2, p. 119-130, 2003.
- VAN LOO, J.; CUMMINGS, J.; DELZENNE, N.; ENGLYST, H.; FRANCK, A.; HOPKINS, M.; KOK, N.; Mc FARLANE, G.; NEWTON, D.; QUIGLEY, M.; ROBERFROID, M.; VAN DEN HEUVEL, E. Functional food properties of non-digestible oligosaccharides: a consensus report from the ENDO project (DGXII – CT94-1094). **British Journal of Nutrition**. v.81, p.121-132, 1999.
- VANINI, M.; BARBIERI, R. L.; CEOLIN, T.; HECK, R.M.; MESQUITA, M. K. A relação do tubérculo andino yacon com a saúde humana. **Ciência Cuidado e Saúde**, v.8, p. 92-96, 2009.
- VEGA, R.; ZUNIGA-HANSEN, M. E. The effect of processing conditions on the stability of fructooligosaccharides in acidic food products. **Food Chemistry**, v. 173, p. 784-789, 2015.

OBJETIVO GERAL

Avaliar a estabilidade de frutooligossacarídeos em extrato aquoso de yacon obtido por meio de diferentes condições de preparo, durante o armazenamento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a estabilidade do teor de FOS do extrato aquoso de yacon preparado por imersão e branqueamento, ao longo do tempo de armazenamento;
- Avaliar o efeito da adição de diferentes agentes anti-escurecimento (ácido tartárico, ácido ascórbico, ácido cítrico e cisteína) no teor de frutooligossacarídeos (FOS) do extrato aquoso de yacon, ao longo do tempo de armazenamento;
- Avaliar diferentes metodologias para redução do teor de água dos extratos aquosos (liofilização, secagem a vácuo e concentração a vácuo);
- Avaliar a estabilidade dos FOS durante o armazenamento, nos produtos obtidos, ou seja, nos extratos em pó (liofilizado e seco a vácuo) e no extrato na forma de xarope (concentrado a vácuo).

CAPÍTULO 1

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Características gerais do yacon

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*), uma raiz tuberosa, tem sido amplamente estudada como alimento funcional, por ser uma excelente fonte de frutooligossacarídeos (FOS), que funcionam como fibras dietéticas e prebióticas com baixo valor calórico (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003; SANTANA; CARDOSO, 2008).

Originária das regiões Andinas, de clima temperado, o yacon pertence à família *Asteraceae* (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003; SANTANA; CARDOSO, 2008). As raízes apresentam formas irregulares e por terem a casca fina podem exibir algumas deformidades como fissuras e constrictões, são de cor amarronzada e se assemelham a batata doce (Figura 1) (HERMANN; PÁRRAGA; MANRRINQUE, 2005).



Figura 1 - Raízes Tuberosas de Yacon

Fonte: HERMANN; PÁRRAGA; MANRRINQUE, 2005

Apesar de apresentar alta produtividade não havia interesse no cultivo comercial dessa planta silvestre, dado o baixo fornecimento de energia para os trabalhadores das frias regiões Andinas e à sua curta vida de prateleira (KAKIHARA et. al., 1996). O interesse pela produção do yacon aumentou após a descoberta de seus benefícios para a saúde (SANTANA; CARDOSO, 2008). O consumo da raiz pode trazer efeitos favoráveis no controle dos níveis de colesterol sanguíneo, na redução dos fatores de risco de diabetes e de câncer do aparelho

digestivo, alívio da constipação e aumento na absorção de minerais (VANINI et. al., 2009; BORGES et. al., 2012).

O yacon é bem adaptável a diferentes climas e altitudes (HERMANN; PÁRRAGA; MANRRINQUE, 2005). Foi introduzido no Brasil nos anos 90, e a partir do ano 2000 houve uma intensificação de seu consumo (MOSCATTO; PRUDÊNCIO - FERREIRA; HULLY, 2004).

A raiz possui entre 10 e 14% de matéria seca, sendo que, aproximadamente 90% deste conteúdo são compostos por FOS, glicose, frutose e sacarose. O yacon apresenta como mineral mais abundante o potássio, 1 a 2% da massa seca. Cálcio, zinco, ferro, manganês, cobre, magnésio, sódio, fósforo estão presentes em menores quantidades. Algumas vitaminas como tiamina, caroteno, retinol, riboflavina, niacina são encontradas em quantidade traços, exceto o ácido ascórbico. Triptofano está presente em quantidades médias de 14,6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Ainda, possui cerca de 200 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de matéria fresca, de compostos fenólicos (VALENTOVÁ & ULRICHOVÁ, 2003).

Diferentemente da maior parte dos vegetais, que armazenam seus carboidratos em forma de amido, o yacon os armazena em forma, principalmente, de FOS (VALENTOVÁ & ULRICHOVÁ, 2003), sendo considerado o alimento da natureza com maior teor de FOS (TAYLOR et. al., 1990; VANINI et. al., 2009). Porém o teor de carboidratos varia com a colheita, a cultivar, e as condições de armazenamento após colheita (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003). Considera-se uma composição de 40 a 70% de FOS, 5 a 15% de sacarose, 5 a 15% de frutose e menos de 5% de glicose, em base seca (GRAEFE et. al., 2004).

O yacon ao ser empregado para extração de FOS torna-se mais vantajoso por apresentar maior produtividade quando comparado com as plantas que normalmente são utilizadas para esta finalidade, como a chicória (OLIVERA; NISHIMOTO, 2004). Kakiyama et. al. (1996) obtiveram valores de produtividade de 100 t/ha de raízes tuberosas na região de Capão Bonito – São Paulo. Enquanto que Reghin et. al. (2007) descreveram para a produção de chicória resultados de produtividade de 35,46 t/ha.

Dado seu sabor adocicado, o yacon é consumido normalmente como fruta na forma *in natura*, mas pode ser consumido também cozido em água, no vapor ou em forma de fritura. Tem sido também empregado na indústria de alimentos como xaropes (HERMANN; PÁRRAGA; MANRRINQUE, 2005), chips (KOTOVICZ, 2011), sucos (DIONISIO et al., 2016) produtos de panificação como bolos (MOSCATTO; PRUDÊNCIO - FERREIRA;

HAULY; 2004), iogurtes (VASCONCELOS, 2010) e farinhas (VASCONCELOS, 2010; CAMPOS; AGUILAR-GALVEZ; PEDRESCHI, 2016), para aproveitar sua potencialidade e diferentes funcionalidades (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003).

Não foram encontrados estudos que demonstrem quaisquer aspectos toxicológicos relacionados ao consumo de yacon. Tem sido relatado desconforto gastrointestinal (BORGES et al., 2012). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (2016) recomenda que seu uso como ingrediente (FOS) não deve ultrapassar 30 gramas diárias do produto pronto para consumo. Genta et. al. (2005) estudaram a toxicidade da raiz em ratos que foram alimentados por 4 meses com uma dieta padrão mais dois comprimidos contendo os níveis desejados de FOS: uma dose baixa de 340 mg FOS / kg de peso corporal / dia e uma dose elevada de 6800 mg FOS / kg de peso corporal / dia. Valentová et. al. (2008) estudaram a toxicidade em humanos alimentados por 90 dias com 2,4 g/ dia de yacon. Em ambos estudos não encontraram nenhuma característica toxicológica do yacon.

Em muitas regiões a raiz é usada para fins medicinais como, por exemplo, na Bolívia onde é consumida por diabéticos e por pessoas com problemas digestivos (SANTANA; CARDOSO, 2008). Teixeira et. al. (2009) relataram redução de glicemia, em homens e mulheres, após consumo de suco de laranja adicionado de yacon, acreditando que este efeito é devido a grande quantidade de FOS presente nestas raízes.

Fisiologicamente os FOS se comportam como fibras alimentares solúveis (VANINI et. al., 2009), capazes de aumentar os movimentos peristálticos intestinais e a quantidade de água retida pela matéria fecal, reduzindo o tempo de trânsito intestinal (HERMANN; PÁRRAGA; MANRRINQUE, 2005).

Utami et. al. (2013) compararam a diferença de efeitos entre o consumo de yacon e de FOS comercial. A raiz de yacon possui mais compostos como fibras insolúveis, polifenóis além outros carboidratos. Os resultados revelaram que o consumo de yacon pode desempenhar um papel importante e ligeiramente diferente na manutenção da saúde do cólon em comparação com outras fontes de FOS, em razão da presença desses outros componentes juntamente com os FOS. A raiz exibiu um efeito prebiótico, promovendo o crescimento de *lactobacilos* como as *bifidobactérias*, resultando em maior concentração de ácidos graxos de cadeia curta e pH mais baixo.

1.2. Frutooligossacarídeos

Os frutanos atuam como reserva de hidratos de carbono e são frequentemente encontrados em folhas, tubérculos e raízes. Estão envolvidos na resistência às condições de estresse e podem agir como osmoprotetores em condições de seca, dificultando a perda de água (APOLINÁRIO et al., 2014).

Frutanos são sintetizados e armazenados nos vacúolos, quando a produção de carbono excede a demanda, sendo mobilizados para produção de energia (VERLAG; RITSEMA; SMEEKENS, 2003).

Os frutanos são polímeros de frutose, solúveis em água, originados do metabolismo de sacarose. A formação das cadeias de frutooligossacarídeos envolvem duas enzimas: a frutossiltransferase (SST) e a frutano frutossiltransferase (FFT). A enzima SST responsável pela formação do FOS de cadeia mais simples, denominado 1-cestose (ou 1- Kestose), catalisa a união de duas moléculas de sacarose, produzindo um trissacarídeo e uma molécula de glicose. A FFT transfere terminais frutossil de outros frutanos para a molécula de 1-cestose (NARAI-KANAYAMA; TOKITA; ASO, 2007; SANTANA; CARDOSO, 2008; SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003). O tipo de frutano depende do tipo de ligação entre as moléculas de frutose. Em FOS do tipo inulina a ligação presente é a β (2 \rightarrow 1) (OLIVEIRA et al. 2009).

As ligações β (2 \rightarrow 1) presentes em suas cadeias são responsáveis pela não digestão destes no cólon intestinal, uma vez que o ser humano não possui enzimas que as hidrolisam (GRAEFE et al., 2004), fazendo com que apresentem baixo valor calórico e comportem-se como fibra dietética (OLIVERA; NISHIMOTO, 2004). Segundo a ANVISA (2016), um alimento tem alegação de funcionalidade quando a recomendação diária do produto pronto para consumo forneça no mínimo 5 gramas de FOS, já a porção do produto deve fornecer no mínimo 2,5 gramas de FOS.

Os FOS são fermentados no cólon, principalmente pelas bactérias dos gêneros *Bifidus* e *Lactobacillus*. Durante a fermentação ocorre produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) como o butírico, propiônico e o acético, além de ácido lático, dióxido de carbono e hidrogênio. Estes AGCC reduzem o pH do cólon, causando o impedimento de proliferação de bactérias patogênicas e nocivas (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003).

O número de moléculas de frutose na cadeia caracteriza o grau de polimerização (GP) dos FOS. Frutooligossacarídeos que possuem duas moléculas de frutose na cadeia, por

exemplo, apresentam GP igual a 2. A Figura 2 ilustra as cadeias mais comuns de FOS (LACHMAN; FERNÁNDEZ; ORSÁK, 2003).

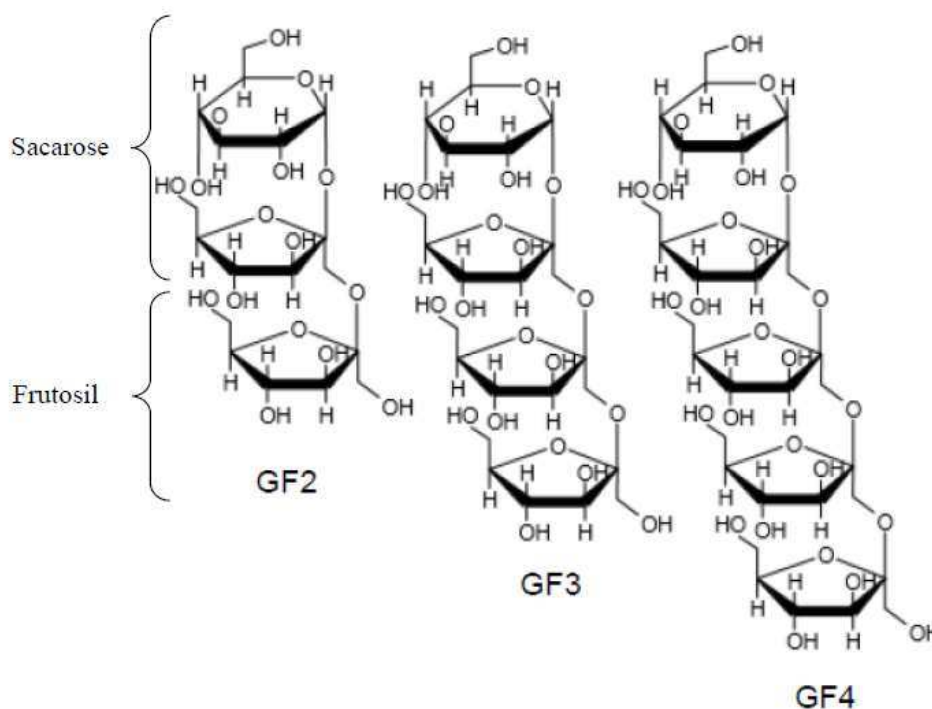


Figura 2 - Principais frutooligossacarídeos

Fonte: Lachman; Fernández; Orsák (2003)

A diferença entre FOS e inulina está no número de moléculas de frutose das cadeias. A inulina contém entre 2 e 60 moléculas de frutose e os FOS entre 2 e 10. Por isso muitos autores usam o termo FOS do tipo inulina, pois o consideram como um subgrupo desta (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003).

O comprimento da cadeia de frutanos nas plantas varia entre duas até algumas centenas de unidades de frutose. Em seu estudo Taylor et. al. (1990) observaram que o yacon pertence ao grupo que armazena frutanos de baixo valor de massa molar, sendo os FOS de GP maiores, encontrados em menor quantidade do que aqueles com menor GP. O alto teor de FOS de cadeia curta em yacon sugere que esta planta é uma boa alternativa para extração deste prebiótico, dada à facilidade de cultivo e alto rendimento (HERMANN; PÁRRAGA; MANRRINQUE, 2005).

A inulina quando emulsionada com água, forma emulsão com textura semelhante a gordura, mas com muito menos calorias do que o triacilglicerol. Pode ser utilizada em iogurtes, cremes, sorvetes e como um substituto de gordura. Inulina e outros frutanos não só são adicionados aos alimentos como substâncias isoladas, mas também estão naturalmente

presentes em muitos vegetais, por exemplo, cebola, alho-poró, alcachofra e ameixa (VERLAG; RITSEMA; SMEEKENS, 2003).

Os FOS possuem propriedades importantes para a indústria, como ausência de cor e odor, e estabilidade em pH neutro. Conferem resistência aos preparados de frutas e têm um efeito sinérgico com edulcorantes. Apresentam 30% de poder edulcorante em relação à sacarose, são mais solúveis e menos calóricos (1-2 kcal/g), podendo ser útil para substituir parcial ou totalmente (quando combinado a outros adoçantes não calóricos) a sacarose. Seu uso é apropriado em preparados de frutas para iogurtes e sorvetes com baixos teores de gordura, açúcar e calorias (MONTAN, 2003; APOLINÁRIO et. al., 2014).

Estudos têm aberto oportunidades para o uso de FOS no setor lácteo (VASCONCELOS et. al., 2010; TOPOLSKA et. al., 2016) e em outros setores como o de cereais (MOSCATTO; PRUDÊNCIO - FERREIRA; HAULY; 2004). Por serem altamente solúveis podem ser utilizados em alta quantidade, sem cristalizar ou precipitar, o que poderia provocar sensação de arenosidade no paladar, como ocorre com as fibras insolúveis (MONTAN, 2003; APOLINÁRIO et. al., 2014).

1.2.1. Fatores que influenciam a degradação de FOS

A composição final de FOS em um produto depende das condições de processamento, como pH, temperatura e tempo de armazenamento, além da matriz alimentar e grau de polimerização dos FOS. As cadeias de FOS são susceptíveis à hidrólise em moléculas de açúcares simples (glicose e frutose) sob condições favoráveis (VEGA & ZUNIGA-HANSEN, 2015).

Portanto, planejar as condições de processo nas operações unitárias (branqueamento, pasteurização, armazenamento, etc.) é de grande interesse na indústria de alimentos para evitar a degradação de moléculas dos FOS (MATUSEK et. al., 2009).

Segundo Oliveira & Nishimoto (2004) a época de colheita influencia o teor de FOS da raiz, sendo que a época de maior teor seria entre a 31ª e a 35ª semana após o plantio. Outro fator que também influencia é a temperatura de armazenamento, sendo que sob refrigeração sua vida útil é maior (OLIVERA & NISHIMOTO, 2004).

A composição química inicial também afeta a hidrólise; FOS de menor GP são hidrolisados em moléculas de frutose, glicose e sacarose mais rapidamente, por outro lado, FOS de maior GP tendem a hidrolisar dentro das cadeias, gerando duas moléculas com grau

de polimerização menor. Quando inseridos em matrizes alimentares os FOS podem sofrer hidrólise química, pois são facilmente hidrolisados em condições ácidas e em temperaturas de pasteurização (BLECKER, et. al.; 2002).

Vega & Zuniga-hansen (2015) analisaram a hidrólise de FOS de dois xaropes produzidos: um de trissacarídeos e outro de pentassacarídeos. O efeito das condições de processamento (temperatura e grau de polimerização) na estabilidade de FOS foi investigado em três meios de reação (tampão de citrato de sódio e sucos de laranja e de tomate) em um estudo cinético a pH 3,5. Pentassacarídeos foram mais estáveis ao tratamento térmico do que trissacarídeos sob todas as condições testadas. Além disso, os FOS foram mais estáveis em suco de laranja, seguido de suco de tomate e tampão de citrato. Os resultados mostraram que, além da temperatura e do pH, o GP e matriz alimentar, devem ser considerados no processamento de alimentos enriquecidos com FOS, como já mencionado anteriormente.

1.2.1.1. Influência do pH e da temperatura

Quando as raízes são colhidas necessitam de energia para suprir a demanda dos processos de respiração e transpiração. Essa energia é obtida por meio da despolimerização das cadeias de frutooligossacarídeos. Após uma semana de armazenamento do yacon em temperatura ambiente (25 °C), 30 a 40% dos FOS terão sido transformados em açúcares simples (glicose, frutose e sacarose) (GRAEFE et. al., 2004; SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003).

A enzima Frutano exohidrolase (FEH) é responsável pela despolimerização, sendo que um aumento na atividade da FEH correlaciona-se com a decomposição de FOS e o aumento de frutose e glicose, indicando que esta enzima é responsável pela ruptura das cadeias de FOS (VERLAG; RITSEMA; SMEEKENS, 2003).

DEGASPERI et. al. (2003) realizaram um estudo sobre a atividade enzimática da FEH em raiz tuberosa da família *Asteraceae*, chamada *Viguiera discolor Baker*, originada do cerrado brasileiro. Nas condições testadas, o valor ótimo do pH para atividade dessa enzima foi 5,4 e a temperatura entre 20 e 40 °C. Resultados semelhantes foram encontrados por Asega (2003) para temperatura, em seu estudo sobre a atividade enzimática da FEH em raiz tuberosa da família *Asteraceae*, chamada *Vernonia herbacea*, em que o extrato bruto apresentou, para atividade de FEH, pH ótimo de 4,5 e temperatura de 30 °C. A Tabela 1

ilustra alguns estudos (L'HOMME et. al., 2003; GRAEFE et. al., 2004; MATUSEK, 2009) que analisaram os efeitos do pH e da temperatura sobre a hidrólise das cadeias de FOS.

Tabela 1 - Estudos sobre os efeitos do pH e temperatura sobre as cadeias de FOS

Objetivos	Procedimentos	Resultados	Referências
Avaliar a degradação de FOS comerciais com variação da temperatura e pH.	Três padrões comerciais de FOS com GP de 2 a 4 foram incubados em três valores de pH (4, 7 e 9) e cinco temperaturas entre 80 e 120 °C.	A 120 °C os três tipos de FOS foram facilmente degradados. A estabilidade das cadeias aumentou em pH 7, independente da temperatura. Não se observou degradação em pH 9 durante 24 h`s em qualquer uma das temperaturas testadas.	L'homme et. al. (2003)
Avaliar mudanças na composição química de yacon após a colheita.	Armazenar as raízes em duas altitudes (1990 e 2930 metros), por 12 dias.	Houve perda de FOS e aumento na concentração de frutose nas duas condições de altitude avaliadas. Maior conversão foi observada em altitudes mais baixas, provavelmente porque temperaturas mais elevadas podem ter catalisado a ação da enzima frutano exohidrolase.	Graefe et. al. (2004)
Avaliar mudanças na composição de açúcares de yacon expostos ao sol após a colheita.	Raízes expostas ao sol por seis dias.	A despolimerização foi mais intensa nos dois primeiros dias, possivelmente devido à ativação da enzima com a radiação inserida num primeiro momento, e reduzida após dois dias devido à desidratação ocorrida. A desidratação pode ter causado uma redução na atividade da enzima que degrada o FOS.	Graefe et. al. (2004)
Avaliar a degradação de FOS comerciais com variação de temperatura e pH.	Cinco amostras comerciais de FOS com GP de 2 a 8 foram incubadas a 60, 70, 80, 90 e 100 °C e o pH variou entre 2,7 e 3,3.	Sob condições ácidas a 60 °C a hidrólise dos FOS foi reduzida. De 60 a 80 °C e pH = 3,3 a hidrólise de FOS foi ligeiramente perceptível; e em pH 2,7, a velocidade de degradação foi de 20-25%. A 70 e 80 °C, houve despolimerização entre 1 e 2 h. A 90 e 100 °C, as mudanças foram significativamente mais rápidas, sendo que a concentração de dissacarídeos aumentou nos primeiros 15-20 min. A degradação total de FOS entre 90 e 100 °C ocorreu entre 30 e 60 min. (pH = 2,7), entre 60 e 90 min (pH = 3,0) e em 2 h`s (pH = 3,3).	Matusek et. al. (2009)

A alta estabilidade de FOS, em condições neutras e baixa estabilidade em condições ácidas, é consistente com o envolvimento de prótons no processo de degradação e, portanto, com um mecanismo de catálise ácida. A fragilidade das ligações glicosídicas na forma protonada é significativamente maior do que na não protonada. As ligações glicosídicas frutose-frutose, ou frutose-glicose (C---O) são mais estáveis na forma não protonada (L'HOMME et al., 2003; MATUSEK et al., 2009).

Alguns estudos analisaram a estabilidade de FOS em yacon com o tempo (GRAEFE et al.; 2004; BERBARI et. al., 2009; TSUTSUMI, 2015; TOPOLSKA et. al., 2016) como listado na Tabela 2.

Tabela 2 - Estudos sobre o efeito do tempo de armazenamento sobre as cadeias de FOS

Objetivos	Resultados	Referências
Determinar o efeito do armazenamento de 12 dias, de raízes de yacon de três diferentes cultivares, em duas altitudes, 1990 e 2930 metros.	Ao final dos 12 dias a concentração de FOS diminuiu cerca de um terço em todas as cultivares, independente da altitude.	Graefe et. al. (2004)
Avaliar a estabilidade de FOS em geleia adicionada de suco de yacon, ao longo de 180 dias de armazenamento.	Ao longo da estocagem a geleia manteve seus teores de FOS ($p \geq 0,05$).	Berbari et. al. (2009)
Avaliar a degradação de FOS em um produto a base de yacon durante o armazenamento a 180 dias.	Nas amostras estocadas a 25 °C os níveis de FOS e inulina decaíram de 16,39% (30 dias) para 9,38% (180 dias).	Tsutsumi (2015)
Avaliar a estabilidade de frutanos em sorvete de morango adicionado de yacon, ao longo de 3 meses de armazenamento.	Ao fim de 12 semanas houve perda de 48,4% do conteúdo de frutanos.	Topolska et. al.(2016)

1.2.1.2. Influência da atividade de água

A conservação de materiais pela secagem se baseia no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico, necessitam de certa quantidade de água para suas atividades. Com a redução da água disponível, serão reduzidas a atividade de água e a velocidade das reações químicas no produto, bem como o desenvolvimento de microrganismos (LOPES et. al., 2015).

Como o yacon é uma raiz com elevada atividade de água de $0,994 \pm 0,001$ (SCHER; RIOS; NOREÑA, 2009), a operação unitária de desidratação, é uma alternativa viável para aumentar sua vida de prateleira. Em produtos secos o processo de degradação de FOS é muito lento, ocorrendo acima de $135\text{ }^{\circ}\text{C}$, devido à baixa atividade de água. Resultados encontrados por Scher; Rios; Noreña (2009) mostram a degradação de FOS a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ na presença de água livre (SCHER; RIOS; NOREÑA, 2009).

Os principais fatores limitantes para a utilização de temperaturas elevadas no processo de secagem de yacon é a despolimerização dos FOS. Na atualidade, as pesquisas estão voltadas no sentido de aumentar a retenção das propriedades nutritivas e sensoriais do produto desidratado mediante a alteração das condições de processo e o uso de pré-tratamentos (LOPES et al., 2015).

Campos; Aguilar-galvez; Pedreschi (2016) avaliaram a secagem de yacon nas temperaturas de 50 , 65 e $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ e não observaram diferença estatística ($p \geq 0,05$) no efeito hidrólise de FOS, nestes três procedimentos. Já Scher; Rios; Noreña (2009) ao contrário, encontraram diferença significativa ($p \leq 0,05$) no teor de FOS para a secagem realizada nas temperaturas de 50 , 60 e $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ com a verificação do aumento no teor de açúcar redutor a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, como consequência da hidrólise de FOS.

As tecnologias que podem ser utilizadas para reduzir a atividade de água de yacon são: a concentração a vácuo, secagem a vácuo e a liofilização. Na concentração a vácuo parte da água é removida em um evaporador sob pressão reduzida e, conseqüentemente, sob baixas temperaturas, o que é importante em alimentos termo sensíveis. Já a desidratação a vácuo consiste em secar o produto utilizando a combinação de aquecimento e baixa pressão. Esta operação permite a obtenção de produtos de alta qualidade e preserva mais facilmente suas características, pois a temperatura se mantém em torno de 30 a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sob vácuo, a evaporação da água ocorre em temperaturas mais brandas. Na liofilização a remoção da água ocorre por sublimação, pois a operação ocorre em temperaturas e pressões mais baixas que as do ponto triplo. Nestas condições a fase líquida deixa de existir e a substância passa diretamente do estado sólido para o estado gasoso. As condições de baixa pressão e temperatura em que a água é removida tornam-se fatores determinantes para a preservação da qualidade nutricional do alimento, pois os nutrientes termo lábeis, ficam protegidos das reações enzimáticas e oxidativas que levam às perdas nutricionais (GAVA; SILVA; FRIAS, 2008).

A Tabela 3 lista alguns estudos para desidratação em yacon, envolvendo a concentração, secagem e liofilização. Os estudos que realizaram liofilização (LOBO et. al., 2007; SCHEID et. al., 2014) obtiveram produtos com maior concentração de FOS do que os que empregaram a secagem em estufa de circulação de ar (VASCONCELOS et. al., 2010; RODRIGUES et. al., 2011;).

Tabela 3 - Estudos de diferentes processos de secagem de yacon

Produto	Processo de obtenção	Concentração de FOS obtida	Referências
Xarope de yacon (73 °Brix, 1,540 g/L e pH 5.4).	Concentração em evaporador a 120 °C.	41%	Genta et. al. (2009)
Suco de yacon em pó	Secagem de suco de yacon (8 °Brix) e suco de yacon concentrado (24 °Brix) em leito de espuma obtida com adição de albumina de ovo. As espumas foram colocadas em leitos de metal, não perfurados, e desidratadas em forno convectivo sob temperatura controlada (50, 60 e 70 °C) e ar em velocidade constante (4 m/s).	O suco e o suco concentrado apresentaram uma média de 41% e 58% de carboidratos (glicose, frutose, sacarose, Fos) respectivamente.	Franco et. al. (2015)
Raízes de yacon em pó	Liofilização das raízes.	55,3%	Lobo et. al. (2007)
Raízes de yacon em pó	Liofilização das raízes.	41,2%	Scheid et. al. (2014)
Farinha de yacon	Secagem a 55 °C/48 h em secador de circulação de ar.	25,7 %	Rodrigues et. al. (2011)
Farinha de yacon	As raízes raladas foram depositadas em bandejas de polietileno e secadas em estufa com ventilação a 55°C/ 48 h.	19,4%	Vasconcelos et. al. (2010)

1.2.1.3. Influência do controle de escurecimento enzimático na estabilidade do FOS

O yacon apresenta em sua composição as enzimas polifenoloxidase e peroxidases, que catalisam a oxidação de compostos fenólicos em quinona, o que causa o escurecimento enzimático. Quando as raízes são descascadas e processadas, os compostos fenólicos ficam expostos e disponíveis para reações de oxidação com tais enzimas, nesta reação ocorre a formação de pigmentos escuros denominados melanoidinas (BORGES et. al., 2012). Este escurecimento pode ser controlado de diversas formas, como com a retirada de oxigênio do meio, armazenamento a baixas temperaturas e o uso de agentes anti-escurecimento (GRAEFE et. al., 2004; VALENTOVÁ; ULRICHOVÁ, 2003).

Vasconcelos et. al. (2015) realizaram um estudo com vários agentes anti-escurecimento buscando determinar aquele mais eficiente no controle enzimático de yacon minimamente processado. Os melhores resultados do ponto de vista enzimático e sensorial foram obtidos com o uso dos ácidos ascórbico, cítrico e tartárico.

Porém, os agentes utilizados no controle do escurecimento enzimático devem ser estudados quanto a degradação das cadeias de FOS.. O processamento do extrato de yacon utilizando diferentes agentes em uma concentração de 0,2 mol/L provocou diferentes valores de pH, sendo obtidos valores de 2,52; 2,59; 5,65; 3,37 e 6,00 para ácido cítrico, ácido tartárico, cisteína, ácido ascórbico e controle (extrato produzido sem adição de um agente anti-escurecimento) respectivamente (Vasconcelos et. al., 2015).

Campos; Aguilar-Galvez; Pedreschi (2016) testaram o branqueamento de fatias de yacon com 5 mm de espessura em água fervente por 4 minutos. Observaram um escurecimento gradual a partir da parte externa em direção ao centro. Por isso realizaram novos experimentos com o uso de aditivos. O branqueamento realizado em água permitiu inativar 95% da polifenoloxidase e atividade da peroxidase, porém, soluções de branqueamento contendo ácido ascórbico, ácido cítrico e ácido láctico foram prejudiciais em termos de estabilidade de FOS devido à hidrólise principalmente de GP3, GP4 e GP5. Assim, a diminuição de FOS ocorreu devido principalmente à hidrólise provocada pelo tratamento de branqueamento em água, em ebulição, sob condições ácidas.

Além de controlar o escurecimento enzimático esses tratamentos também contribuem para preservação dos compostos fenólicos em yacon. Esses compostos

apresentam importante função antioxidante, protegendo as membranas celulares contra danos provocados pelos radicais livres sendo importante no controle de doenças cardiovasculares e câncer. A presença de compostos fenólicos ocorre tanto nas folhas quanto nas raízes (VALENTOVÁ & ULRICHOVÁ, 2003).

1.3. Influência da técnica de extração de Frutooligossacarídeos por ultrassom

A técnica de ultrassom tem sido utilizada extensivamente nas duas últimas décadas como uma ferramenta de extração. A extração por ultrassom pode ser aplicada na extração de compostos valiosos, como diferentes extratos de ervas, polifenóis, antocianinas, frutooligossacarídeos, compostos aromáticos, polissacarídeos ou proteínas. A sonicação em sistemas sólido-líquido pode melhorar a eficiência e a taxa de extração, reduzir a temperatura necessária e economizar solventes, favorecendo assim a solubilização dos compostos interessantes. As ondas de ultrassom após a interação com material vegetal submetido altera seu estado físico e químico. Seus efeitos cavitacionais facilitam a liberação de compostos extraíveis e aumenta o transporte de massa interrompendo as paredes celulares da planta. O colapso das bolhas de cavitação próximo a uma superfície sólida leva a um rompimento das paredes celulares da planta por meio da formação de microjatos (CHEMAT et. al., 2011; CÁRCEL et. al., 2012).

Milani et. al. (2011) extraíram inulina da raiz de bardana e encontraram um rendimento de 24,31 %, superior ao da extração convencional (12,31%). Aplicou-se ultrassom de ponta com uma amplitude de 83,22% por um tempo de sonicação de 25 minutos.

Lingyun et. al. (2007) compararam a extração convencional, extração direta de sonicação e extração indireta de sonicação e mostraram que a extração indireta de sonicação é um método adequado para a extração de inulina. A taxa de extração do processo assistido por ultrassom direto foi cerca de 2 vezes mais rápida que a do método convencional. A extração assistida por ultrassom diminui o tempo de extração e aumenta a velocidade de extração.

1.4.Fermentação de yacon

A população microbiana dos vegetais depende das condições físicas e nutricionais (LINDOW; BRANDI, 2003; RODRÍGUEZ et. al., 2009), cada espécie de planta apresenta uma microbiota natural específica (BUCKENHÜSKES, 1997). A microbiota das frutas é composta principalmente por leveduras e fungos, já a de hortaliças com pH mais elevado por bactérias (DI CAGNO et. al., 2013).

A fermentação espontânea de vegetais crus depende de condições favoráveis de atividade de água, anaerobiose, concentração de sal, pH inicial e temperatura. A concentração de carboidratos fermentáveis, a capacidade de tamponamento, o pH e a presença de compostos inibidores são os principais fatores ambientais que afetam o crescimento de bactérias lácticas (FLEMING et. al., 1995; DEMIR et. al., 2006; RODRÍGUEZ et. al., 2009).

Reina et. al. (2015) produziram salmouras com yacon utilizando 2% de NaCl e mostraram que a fermentação foi dominada por LAB (bactérias lácticas) (10^9 UFC/g) seguida por leveduras que atingiram uma população de 10^{1-2} UFC/g. A concentração de NaCl utilizada em fermentações vegetais varia de 2% a 10% ou mais, dependendo do tipo de produto fabricado. NaCl favorece o crescimento de bactérias lácticas (LAB) que produzem ácido láctico, conseqüentemente, caindo o pH do meio e inibindo a proliferação de bactérias concorrentes indesejáveis (FLEMING et. al., 1995; DEMIR et. al., 2006; RODRÍGUEZ et. al., 2009).

A atividade metabólica de LAB no estudo de Reina et. al. (2015) provocou uma queda no pH para 3,7, e houve produção de manitol a partir do 30º dia de fermentação. A comunidade de *Lactobacillales* foi dominada por *Leuconostoc* spp.

Espécies de *Leuconostoc* são comumente encontrados em frutas e legumes e desempenham papéis importantes na fermentação de produtos lácteos, legumes e carnes, dada a sua capacidade de fermentar açúcares (sacarose, glicose, frutose) produzindo ácido láctico, glucanos, frutanos e manitol (GROBBEN et. al., 2001, KIM et. al., 2002, PATRA et. al., 2011).

Bactérias heterofermentativas de ácido láctico (LAB) pertencentes aos gêneros *Lactobacillus*, *Leuconostoc* e *Oenococcus* produzem manitol a partir de frutose sem que haja produção de sorbitol. O método de fermentação utiliza a capacidade da bactéria para utilizar a frutose como um aceitador de elétrons alternativo, reduzindo-a ao manitol

com a enzima manitol desidrogenase (EC 1.1.1.67). Pesquisas buscam a produção de manitol por fermentação de forma econômica, tentando encontrar um substrato diferente do usual, que geralmente é peptona e extrato de levedura que apresentam valor econômico elevado (KORAKLI & VOGEL, 2003; RACINE & SAHA, 2007). A produção comercial predominante de manitol é feita por hidrogenação catalítica de uma mistura de frutose e glicose, porém existe uma série de limitações, tais como a produção associada, relativamente difícil de separar o sorbitol, o que diminui rendimentos devido à conversão de apenas metade da frutose em manitol e, portanto, custo de produção mais elevado (SOETAERT et. al., 1999).

O manitol é um adoçante natural de baixo teor calórico, tem muitas aplicações na indústria alimentar, farmacêutica e química. Os valores caloríficos de manitol e sacarose são 1,6 e 4,2 kcal / g, respectivamente (WEYMARN et. al., 2002). Isso o torna aplicável como adoçantes em alimentos de baixo teor calórico. A principal aplicação para manitol na indústria alimentar é como um adoçante em gomas. Também é usado como agente de texturização, agente antiaglutinante, umectante e antioxidante (VANDAMME et. al., 1987) e, portanto, tem o potencial de prolongar a vida útil de vários alimentos (SOETAERT et. al., 1999).

Patra et. al. (2011) isolaram cepas de *Leuconostoc* a partir de uma grande variedade de fontes, tais como leite cru, produtos lácteos e fermentados e vegetais. Houve uma maior produção de manitol nos isolados de vegetais. O nicho ecológico natural do *Leuconostoc* é a vegetação verde e as raízes. O rendimento de manitol foi máximo quando a concentração de frutose foi de 10%, pH inicial 6,5 e temperatura em torno de 30 ° C para maioria das cepas testadas.

Pauly-silveira et. al. (2010) desenvolveram um iogurte simbiótico baseado numa combinação de extrato de soja e de yacon como um novo produto alimentar fermentado com uma cultura probiótica de *Enterococcus faecium* CRL 183 e *Lactobacillus helveticus ssp jugurti* 416. A otimização indicou que uma formulação com uma concentração de proteína de soja de 1,74 g / L e 25,86% de extrato de yacon resultou nos melhores valores médios para o "sabor" e para "impressão global." Estudos semelhantes foram realizados por Manzoni, et. al. (2012) e Brandão et. al. (2014).

Manzoni, et. al. (2012) desenvolveram uma nova bebida simbiótica de baixa caloria feita a partir de yacon (fonte prebiótica) e extratos de soja, contendo probióticos *Bifidobacterium animalis ssp. Lactis* BB-12, com a adição de sacarose e edulcorantes

artificiais. Os resultados indicaram uma bebida com características probióticas, fonte de FOS prebiótico (1,6 g / 200 ml) e de baixo valor calórico ($1482.2 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$).

Brandão et. al. (2014), realizaram um estudo para analisar as alterações durante o envelhecimento por um ano de armazenamento e condução de análise sensorial de um fermentado de yacon. Houve fermentação por leveduras provocando um aumento na acidez e produção de álcool. Houve redução do conteúdo de FOS inicial, sendo que as leveduras foram capazes de hidrolisá-lo e usá-lo através da conversão de sacarose em etanol. Depois de um ano de envelhecimento do fermentado de yacon, verificou-se uma composição de 223 mg / L de compostos fenólicos, uma quantidade considerável quando comparado com os vinhos brancos.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APOLINÁRIO, A. C, DAMASCENO, B. P. G. L.; BELTRÃO, N. E. M.; PESSOA, A.; CONVERTI, A.; SILVA, J. A. Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*, v.101, n.1, p. 368-378,2014.
- ASEGA, A.F. **Enzimas do metabolismo de frutanos em *Vernonia herbacea* (VELL.) Rusby**. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas. 98 p. Piracicaba, SP. 2003.
- BERBARI, S. A. G.; PACHECO, M. T. B.; SILVA, M. G.; NACAZUME, N. Stability of the functional components of yacon, guava and west indian cherry jam, with no added sugar. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 285-294, 2009.
- BLECKER, C.; FOUGNIES, C.; HERCK, J. V.; CHEVALIER J. P.; PAQUOT, M. Kinetic Study of the Acid Hydrolysis of Various Oligofructose. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 6, 1602-1607, 2002.
- BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R. PAULA, C. D.; VIDIGAL, J. G. SILVA, N. A.S.; CALIMAN, F. R. B. Yacon na alimentação humana: aspectos nutricionais, funcionais, utilização e toxicidade. *Scientia Amazonia*, v.1, n. 3, p 3-16, 2012.
- BRANDÃO, C. C.; ASQUIERI, E. R.; ATTARAN, S.; DAMIANI, C. Study of the aging of fermented of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and sensory profile and acceptance. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, n. 2, p. 324-331, 2014.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde, Novos alimentos / Ingredientes, Substâncias Bioativas e Prebióticos. Lista das alegações aprovadas. 2016. Resolução - RES nº 19 de 30/04/1999. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/alimentos/alegações>. Acesso em: Novembro/2016.
- CAMPOS, D.; AGUILAR-GALVEZ, A.; PEDRESCHI, R. Stability of fructoolisaccharides, sugar and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v.51, n.5, p. 1177- 1185, 2016.

- CÁRCEL, J. A. et al. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *Journal of Food Engineering*, v. 110, n. 2, p. 200–207, 2012.
- CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813–35, 2011.
- DEGASPERI, M. I. ; ITAYA, N. M.; BUCKERIDGE, M. S.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L. Fructan degradation and hydrolytic activity in tuberous roots of *Viguiera discolor* Baker (Asteraceae), a herbaceous species from the cerrado. **Revista Brasileira de Botânica.**, v.26, n.1, p.11-21, 2003.
- DEMIR, N.; BAHÇECI, K. S; ACAR, J. The effects of different initial lactobacillus plantarum concentrations on some properties of fermented carrot juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.30, p.352-363, 2006.
- DI CAGNO, R.; CODA, R.; DE ANGELIS, M.; GOBBETTI, M. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. **Food Microbiology**, v.33, p. 1-10, 2013.
- DIONISIO, A. P.; WURLITZER, J. N.; GOES, T. S., BORGES, M. F.; GARRUTI, D.; ARAÚJO, I. M. S. Estabilidade de uma bebida funcional de frutas tropicais e yacon (*Smallanthus sonchifolius*) durante o armazenamento sob refrigeração. *Archivos Latino Americanos de Nutrición*, v.66, n.2, p.148-155, 2016.
- FLEMING, H.; MCDONALD, L.; MCFEETERS, R.; THOMPSON, R.; HUMPHRIES, E. Fermentation of cucumber without sodium chloride. **Journal of Food Science**, v. 60, p. 312–315, 319, 1995.
- FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M.L. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **Food Science and Technology**, v. 66, p.503-513, 2016.
- GAVA, A.J.; SILVA, C.A.B.; FRIAS, J.R.G.F. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Nobel Franquias S.A, 513 p., 2008.
- GENTA, S. B.; CABRERA, W. M.; GRAU, A.; SANCHEZ, S. S. Subchronic 4-month oral toxicity study of dried *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots as a diet supplement in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v.43, n.11, p. 1657-1665, 2005.

- GENTA, S.; CABRERA, W.; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I. M.; GRAUD, A.; SANCHEZ, S. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, v. 28, p. 182-187, 2009.
- GRAEFE S.; HERMANNB, M.; MANRIQUEB, I.; GOLOMBEKA, S.; BUERKERT, A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v. 86, n 2-3, p.157-165, 2004.
- GROBBEN, G.J.; PETERS, S.W.P.G.; WISSELINK, W. H.; WEUSTHUIS, R.A.; HOEFNAGEL, M.H.N.; HUGENHOLTZ, J.; EGGINK, G. Spontaneous formation of a mannitol-producing variant of *Leuconostoc pseudomesenteroides* grown in the presence of fructose. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, n.6, p. 2867–2870, 2001.
- HERMANN, M. PÁRRAGA, A.; MANRRINQUE, I. **Yacon syrup: principles and processing**. Lima: Centro Internacional de La Papa (CIP). 2005.
- KAKIHARA, T. S.; CAMARA, F. L. A.; VILHENA, S. M. C.; RIERA, L. Cultivo e industrialização de yacon (*Polymnia sonchifolia*): uma experiência brasileira. **In: Congresso Latino Americano de Raízes Tropicais**. Resumo n. 148. 1996.
- KIM, C.Y.; LEE, J.H.; KIM, B.H.; YOO, S.K.; SEO, E.S.; CHO, K.S.; DAY, D.F.; KIM, D. Production of mannitol using *Leuconostoc Mesenteroides* NRRL B-1149. **Biotechnology and Bioprocess Engineering** , v. 7, p. 234–236, 2002.
- KORAKLI, M.; VOGEL, R. F. Purification and characterisation of mannitol dehydrogenase from *Lactobacillus sanfranciscensis*. **FEMS Microbiology Letters**, v. 220, p. 281-286, 2003.
- KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem do yacon (polymnia sonchifolia)**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Programa de pós-graduação em tecnologia de alimentos, Curitiba, 2011.
- L'HOMME, C.; ARBELOT, M.; PUIGSERVER, A.; BIAGINI, A. Kinetics of hydrolysis of fructooligosaccharides in mineral-buffered aqueous solutions: Influence of pH and temperature. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n.1, p.224-228, 2003.
- LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. **Plant, Soil and Environment**, v. 49, n.6, p. 283-290, 2003.

- LINDOW, S.E., BRANDI, M.T. Mini review: microbiology of the phyllosphere. **Environmental Microbiology**, v. 69, n. 4, p. 1875 – 1883, 2003.
- LINGYUN, W.; JIANHUA, W.; XIAODONG, Z.; DA, T.; YALIN, Y.; CHENGGANG, C.; TIANHUA, F.; FAN, Z. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Food Engineering*, v. 79, n. 3, p. 1087–1093, 2007.
- LOBO, A. R.; COLLI, C.; ALVARES, E. P.; FILISETT, T.M. C. C. Effects of fructans-containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. **British Journal of Nutrition**, v. 97, p. 776–785, 2007.
- LOPES, F. J.; MELLO, R. E.; ALVES, G. E.; MENDONÇA, K. S.; SILVA, K.C.R.; CORRÊA, J. L. G. **Ajuste de modelos semiteóricos para predição de cinética de secagem de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. Congresso Brasileiro de sistemas particulados. Anais... São Carlos. São Paulo: 2015.
- MANZONI, M. S. J.; CAVALLINI, D.C. U., PAULY-SILVEIRA, N. D.; ROSELINO, M N.; ROSSI, E. A. Development of a Synbiotic Low-Calorie Beverage Made from Soy and Yacon Extracts. **Food and Nutrition Sciences**, v. 3, p. 1500-1508, 2012.
- MATUSEK, A; MERÉSZ, P.; LE, T. K. D.; ÖRSI, F. Effect of temperature and pH on the degradation of fructooligosaccharides. **European Food Research and Technology**, v.228, n.3, p. 355-365, 2009.
- MILANI, E.; KOOCHEKI, A.; GOLIMOVAHHED, Q. A. Extraction of inulin from Burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 46, n. 8, p. 1699–1704, 2011.
- MONTAN, M. As fibras invisíveis. **Aditivos e Ingredientes**, n.19,2003.
- MOSCATTO, J. A.; FERREIRA, S.H.P.; HAULY, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.24, n. 4, p. 634-640, 2004.
- NARAI-KANAYAMA, A.; TOKITA, N.; ASO, K. Dependence of fructooligosaccharide content on activity of fructooligosaccharide-metabolizing enzymes in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuberous roots during storage. **Journal of Food Science**, v. 72, n.6, p. 1-7, 2007.

- OLIVEIRA, M. A.; NISHIMOTO, E.K. Evaluation of the development of yacon plants (*Polymnia sonchifolia*) and characterization of the carbohydrates by HPLC. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.7, n.2, p. 215-220, 2004.
- OLIVEIRA, V. F. et al. Frutanos em calos de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. **Hoehnea**, v.36, n.1, p. 89-97, 2009.
- PATRA, F.; TOMAR, S., RAJPUT, Y., SINGH, R. Characterization of mannitol producing strains of *Leuconostoc* species. **World Journal Microbiology Biotechnology**. v. 27, n. 4, p. 933–939, 2011.
- RACINE, F. M.; SAHA, B. C. Production of mannitol by *Lactobacillus intermedius* nrrl b-3693 in fed-batch and continuous cell-recycle fermentations. **Process Biochemistry**, v. 42, p. 1609–1613, 2007.
- PAULY-SILVEIRA, N. D.; BEDANI, R.; CAVALLINI, D. C.U. ; MANZONI, M. S. J.; MIGUEL, D. P.; BORSATO, D. ; ROSSI, E. A. Optimization of a synbiotic formulation of soy yoghurt containing yacon extract by response surface methodology. **International Journal of Probiotics & Prebiotics**, v. 5, n.4, 211 p., 2010.
- REGHIN, M. Y.; OTTO, R. F.; OLINIK, J. R. ; JACOBY, C. S. F. Produtividade da chicória (*cichorium endivia* l.) em função de tipos de bandejas e idade de transplante de mudas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 739-747, 2007.
- REINA, L.D.; PÉREZ-DÍAZ I.M.; BREIDT, F.; AZCARATE-PERIL, M.A.; MEDINA, E.; BUTZ N. Characterization of the microbial diversity in yacon spontaneous fermentation at 20 °C. **International Journal of Food Microbiology**, v. 203, p. 35–40, 2015.
- RODRIGUES F. C.; CASTRO, A. S. B.; MARTINO, H. S. D.; FERREIRA, C. L. L. F. Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 3, p. 3-8, 2011.
- RODRÌGUEZ, H.; CURIEL, J.A.; LANDETE, J.M.; LAS RIVAS, B.; FELIPE, F.L.; GÒMEZ- CORDOVÉS, C.; MANCHEÑO, J.M.; MUÑOZ, R. Food phenolics and lactic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, v. 132, p. 79-90, 2009.
- SANTANA, I.; CARDOSO, M. H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p. 898-905, 2008.

- SCHEID, M. M. A.; GENARO, P. S.; MORENO, M. F.; PASTORE G. M. Freeze-dried powdered yacon: effects of FOS on serum glucose, lipids and intestinal transit in the elderly. **European Journal of Nutrition**, v. 53, p. 1457–1464, 2014.
- 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 na Technology**, v.44, n.11,p.2169-2175, 2009.
- SEMINÁRIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **EL yacón: fundamentos para el aprovechamiento de um recurso promissório**. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP), 2003. 60f.
- SOETAERT W.; VANHOOREN P. T. ; VANDAMME, E. J. Production of mannitol by fermentation. **Methods Biotechnology**, v. 10, p. 261–275, 1999.
- TAYLOR, P. et al. Composition os storage carbohydrates in tubers of yacon (*Polymia Sonchifolia*). **Soil Science and Plant Nutrition**, v.36, n.1, p.167-171, 1990.
- TEXEIRA, A.P.; PAIVA, C. F.; RESENDE, A.J.; ZANDONADI, R. P. O efeito da adição de yacon no suco de laranja industrializado sobre a curva glicêmica de estudantes universitários. **Alimentação e Nutrição**, v.20, n.2, p.313-319, 2009.
- TOPOLSKA, K.; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, A.; FLORKIEWICZ, A.; CIESLIK, E. Fructan stability in dependence on their source and the period of storage. **European Food Research and Technology**, p. 1-9, 2016.
- TSUTSUMI N. P. **Avaliação físico-química, microbiológica e aceitabilidade de um produto a base de raiz de yacon (*Smallanthus sonchifolius*), fonte de frutoligossacarídeos, em diferentes condições de armazenamento**. Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de Magister Scientiae.2015.
- UTAMI, N. W. A.; SONE, T., TANAKA, M.; NAKATSU, C. H.; SAITO, A.; ASANO, K. Comparison of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber with commercialized fructooligosaccharides (FOS) in terms of physiology, fermentation products and intestinal microbial communities in rats. **Full Paper Bioscience of Microbiota, Food and Health**, v.32, n.4, p 167-178, 2003.
- VALENTOVÁ, K.; STEJSKAL, D.; BARTEK, J.; DVORÁCKOVÁ, S.; KREN, V.; ULRICHOVÁ, J.; SIMÁNEK, V. Maca (*Lepidium meyenii*) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in combination with silymarin as food supplements: In

- vivo safety assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v.46, n.3, p. 1006-1013, 2008.
- VALENTOVÁ, K.; ULRICHOVÁ, J. *Smallanthus sonchifolius* and *lepidium meyenii* – prospective andean crops for the prevention of chronic diseases. **Biomedical Papers**, v. 147, n.2, p. 119-130, 2003.
- VANDAMME E. J. ; LOO V. J. ; SIMKENS E. ; LAPORTE A. Optimization of sucrose phosphorylase production by *Leuconostoc mesenteroides*. **Journal of Chemical Technology Biotechnology**. v. 39, p. 251–262, 1987.
- VANINI, M.; BARBIERI, R. L.; CEOLIN, T.; HECK, R.M.; MESQUITA, M. K. A relação do tubérculo andino yacon com a saúde humana. **Ciência Cuidado e Saúde**, v.8, p. 92-96, 2009.
- VASCONCELOS, C. M.; SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J. Q.; CHAVES, J. B.P.; MARTINO, H. S. D. Determinação da fração da fibra alimentar solúvel da raiz e farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) pelo método enzimático-gravimétrico e cromatografia líquida de alta eficiência. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, v. 69, n. 2, p. 188-193, 2010.
- VASCONCELOS, C. M.; OLIVEIRA, E. B.; ROSSI, N.R.; ARANTES, L. F.; PUSCHMANN, R.; CHAVES, J.B.P. Evaluating Strategies to Control Enzymatic Browning of Minimally Processed Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food and Bioprocess Technology**, v.8, n. 9, p. 1982-1994, 2015.
- VEGA, R.; ZUNIGA-HANSEN, M. E. The effect of processing conditions on the stability of fructooligosaccharides in acidic food products. **Food Chemistry**, v. 173, p. 784-789, 2015.
- VERLAG, F.; RITSEMA, T.; SMEEKENS, S. C. M. Engineering fructan metabolism in plants fructans introduced. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, p. 811-820, 2003.
- WEYMARN, V. N.; HUJANEN, M.; LEISOLA, M. Production of D-mannitol by heterofermentative lactic acid bacteria. **Process Biochemistry**, v. 37, p. 1207–1213, 2002.

CAPÍTULO 2

Influência da forma de preparo e da adição de agentes anti - escurecimento na estabilidade de FOS em extrato aquoso de yacon

1. INTRODUÇÃO

As raízes de yacon são ricas em compostos fenólicos que durante processamento ficam expostos e disponíveis para reação com as enzimas polifenoloxidasas e peroxidases presentes no yacon. Estas enzimas catalisam a oxidação dos compostos fenólicos em quinona, o que causa o escurecimento enzimático com formação de pigmentos escuros denominados melanoidinas (BORGES et. al., 2012).

A adição de agentes anti-escurecimento a sistemas contendo yacon, associada ou não a um pré-tratamento térmico, pode ser utilizada para prevenir a oxidação dos compostos fenólicos. Rodrigues et. al. (2014) submeteram o yacon a um tratamento com os agentes anti-escurecimento ácido ascórbico, ácido cítrico e L-cisteína. A seguir, produziram uma farinha de yacon e observaram que os agentes adicionados inibiram o escurecimento enzimático da mesma. Vasconcelos et. al. (2015) estudaram o controle do escurecimento enzimático do yacon minimamente processado, por 17 dias, após trata-lo com nove agentes anti-escurecimento diferentes, entre eles cisteína, ácido ascórbico, ácido cítrico e ácido tartárico. Campos; Aguilar-Galvez; Pedreschi (2016) avaliaram o branqueamento de fatias de yacon (ebulição por 4 min) sem e com a adição dos agentes anti-escurecimento ácido ascórbico, ácido cítrico e ácido láctico. Em geral, para os sistemas sem adição de agentes foi observado o escurecimento gradual das fatias de yacon a partir da camada externa e em direção ao centro. Já os sistemas com combinação branqueamento e agente, foram efetivos contra o escurecimento.

Associado ao considerável teor de compostos fenólicos, o yacon também é considerado um alimento funcional com características prebióticas devido ao seu elevado conteúdo de frutooligossacarídeos (FOS), no entanto, estas fibras se hidrolisam em açúcares simples (glicose e frutose) em certas condições de pH e temperatura, normalmente, em condições de favorecimento dos compostos fenólicos. Nesse contexto, além da necessidade de controlar o escurecimento enzimático em yacon e em seus derivados, é de grande importância adotar medidas para reduzir a hidrólise dos FOS, na tentativa de preservar ambos, visto os benefícios que são capazes de proporcionar à

saúde do consumidor. Os agentes anti-escurecimento cisteína, ácido ascórbico, ácido cítrico e ácido tartárico já tem sido utilizado no controle do escurecimento enzimático demonstrado bons resultados, contudo, não se tem conhecimento sobre o efeito desses agentes na hidrólise dos FOS.

Desta forma, faz-se necessário avaliar ambos, (i) medidas para o efetivo controle enzimático da oxidação dos compostos fenólicos; e (ii) medidas para o controle da hidrólise dos FOS, durante o armazenamento. Para isso, no presente trabalho foram produzidos extratos aquosos de yacon, com extração dos FOS de dentro dos vacúolos do yacon pela técnica de ultrassom, adicionados de diferentes agentes de controle agentes anti-escurecimento associados ou não a um pré-tratamento térmico e avaliados por 42 dias sob refrigeração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Delineamento Experimental

O extrato aquoso de yacon foi preparado de duas formas: (1) imersão da raiz em solução aquosa contendo os agentes anti-escurecimento, seguida pela trituração e homogeneização da raiz e (2) branqueamento da raiz em solução aquosa anti-escurecimento, separação da raiz da solução, posterior trituração e homogeneização da raiz em água deionizada. Para cada forma de preparo, houve um tratamento controle.

Os agentes anti-escurecimento avaliados foram ácido tartárico, ácido ascórbico, ácido cítrico e cisteína, definidos com base no estudo de Vasconcelos et. al. (2015).

O experimento foi conduzido seguindo um delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, no qual os agentes anti-escurecimento e as formas de preparo foram organizados em um arranjo fatorial (4 agentes x 2 formas de preparo + 2 controles) localizado nas parcelas, e o tempo de armazenamento (0, 7, 14, 35 e 42 dias), nas subparcelas, com 2 repetições, totalizando 100 unidades experimentais.

Os extratos foram armazenados sob temperatura de refrigeração (5 °C) com monitoramento de pH, cor, conteúdo de FOS, sacarose, glicose e frutose durante 42 dias.

2.2. Preparo das raízes do yacon

As raízes utilizadas como matéria-prima foram obtidas do comércio local de Viçosa. A obtenção do extrato de yacon e as análises físico-químicas foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Primeiramente as raízes de yacon foram selecionadas, de forma manual e visual, para retirada daquelas que se apresentavam impróprias para o consumo e, depois, lavadas em água corrente a temperatura ambiente (23 ± 1 °C). Na sequência foram imersas em solução a $2,8 \times 10^{-3}$ mol/L de cloro ativo por 15 minutos. Após este tempo, foram realizados o descascamento e o corte manuais das raízes em fatias cilíndricas (1 cm de espessura), conforme procedimento realizado por Vasconcelos et. al. (2010).

2.3.Preparo dos extratos aquosos de yacon

2.3.1. Preparo do extrato aquoso de yacon por imersão em solução anti-escurecimento

A concentração adicionada dos agentes anti-escurecimento no preparo do extrato aquoso de yacon foi de 0,5% (m/v) (Vasconcelos et. al., 2015). Assim, tomando como base de cálculo o agente de menor massa molar, a cisteína, a concentração final de cada solução aquosa foi de 0,041 mol/L.

As fatias de yacon foram lavadas em água corrente, e, em seguida, imersas na solução anti-escurecimento, contendo 0,05% de sorbato de potássio e 0,05% de benzoato de sódio, por 5 minutos, sendo a proporção yacon:solução anti-escurecimento de 1:1 (m/v). Decorrido esse tempo, as fatias foram trituradas em um mix (Walita Philips, Brasil) juntamente com a solução contendo o agente anti-escurecimento até apresentar uma aparência homogênea, por 3 minutos.

O extrato controle seguiu o mesmo procedimento, contudo, sua homogeneização foi realizada com água deionizada sem agente anti-escurecimento, e na mesma proporção yacon:água.

Todos os extratos aquosos obtidos foram então submetidos à sonicação em ultrassom, visando aumentar a quantidade de FOS na fase solúvel do extrato, seguindo a metodologia proposta por Mendes (2016). Cerca de 250 mL do extrato foi sonicado em processador ultrassônico, modelo DES500 (Unique, Brasil) operando com frequência de 20 kHz e potência de 500 W, em câmara de aço inoxidável, utilizando uma sonda com face emissor de 19 mm de diâmetro, mantida imersa 1 cm abaixo da superfície do material. O material foi submetido à sonicação com amplitude de 60% e tempo de 330 segundos. A temperatura foi mantida constante (15 °C) durante todo processo de sonicação por imersão do béquer contendo o extrato em banho de gelo (Figura 3).

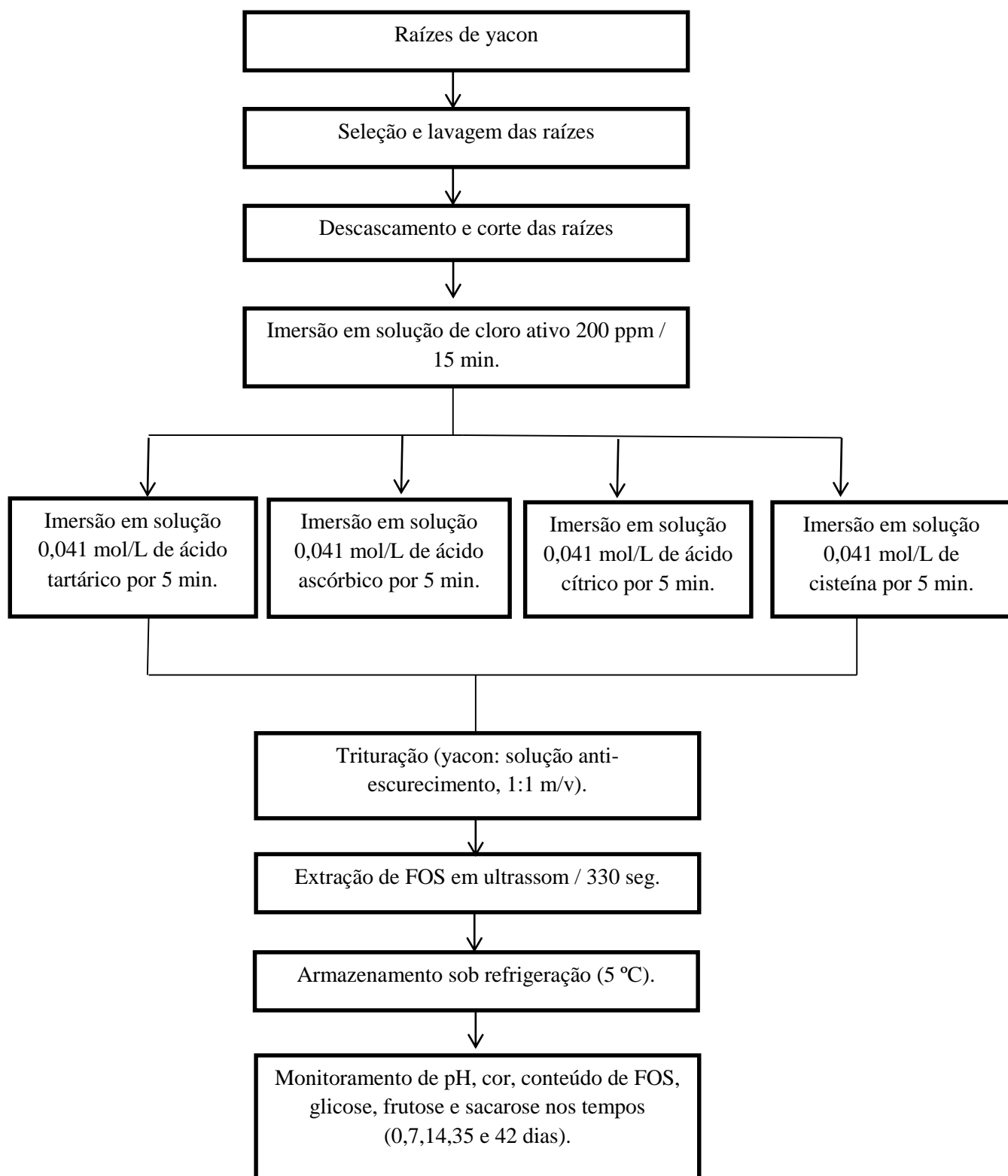


Figura 3 - Fluxograma de produção do extrato aquoso de yacon por imersão em solução anti-escurecimento

2.3.2. Preparo do extrato aquoso de yacon por branqueamento em solução anti-escurecimento

A concentração adicionada dos agentes anti-escurecimento também foi de 0,041 mol/L.

As fatias de yacon foram lavadas em água corrente e, posteriormente, imersas em solução contendo 0,041 mol/L de cada agente durante 4 minutos, sob ebulição, em uma proporção yacon:água de 1:5 (m/v), como realizado por Campos; Aguilar-Galvez; Pedreschi (2016). Decorrido esse tempo, as fatias foram transferidas para um recipiente contendo água deionizada, homogeneizada com 0,05% de sorbato de potássio e 0,05% de benzoato de sódio, na proporção yacon:água deionizada de 1:1 (m/v), e na sequência, trituradas em um mix (Walita Philips, Brasil) até apresentar uma aparência homogênea, por 3 minutos, como realizado por Vasconcelos (2014).

O extrato controle seguiu o mesmo procedimento, contudo, seu branqueamento foi realizado com água deionizada sem agente anti-escurecimento, e na mesma proporção yacon:água.

Todos os extratos foram submetidos à sonicação em ultrassom conforme realizado na obtenção do extrato por imersão em solução contendo os agentes anti-escurecimento (Figura 4).

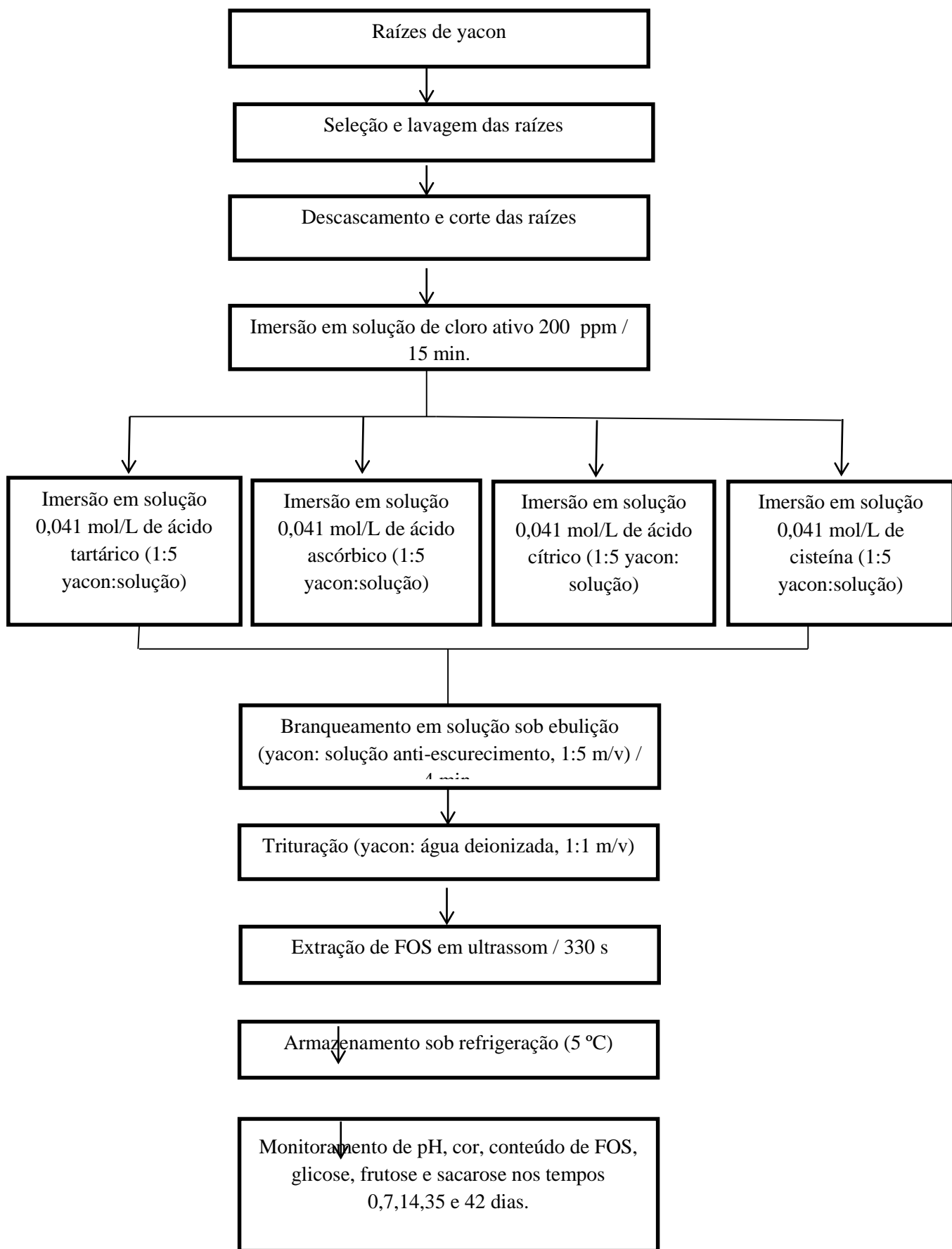


Figura 4 - Fluxograma de preparo do extrato aquoso de yacon utilizando branqueamento em solução anti-escurecimento

2.4.Determinação do pH dos extratos aquosos de yacon

O pH foi determinado por meio da introdução direta do eletrodo na amostra, sendo utilizado medidor de pH digital (Hanna, Brasil) devidamente calibrado, de acordo com o método 981.12 da AOAC (2000).

2.4.1. Análise microbiológica

As análises microbiológicas foram realizadas conforme descrito por Silva, et. al. (2007). Os extratos foram diluídos em série, em solução salina, e plaqueados em ágar (MRS) suplementado com 0,5 g/L de L-Cisteína (Sigma-Aldrich) e em ágar de malte de extrato de levedura (BDA), para enumerar a LAB (bactérias lácticas) e leveduras e bolores, respectivamente. As placas de MRS foram incubadas em frascos anaeróbios 37 °C durante 72 h. As placas de MRS foram suplementadas com cisteína e incubadas a 37 °C para promover o crescimento de qualquer *Bifidobacterium spp* que poderia estar presente nas amostras, conforme realizado por Reina et. al. (2015). As placas de BDA foram incubadas a 25 °C por 5 dias. Foram realizadas quatro diluições (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4}).

2.5.Análise instrumental de cor dos extratos aquosos de yacon

Cerca de 20 mL de extrato foram colocados em uma cubeta e lidos diretamente em colorímetro Color Quest II Spera (Hunter Lab, Reston), com leitura direta dos valores L* (luminosidade), a* (vermelho - verde), b* (amarelo - azul). Foram determinadas, conforme Pathare, Opara, Al-said (2012), as variáveis Hue (Tonalidade), Chroma (Saturação) e Índice de escurecimento.

2.6. Quantificação de sacarose, glicose, frutose e manitol dos extratos aquosos de yacon

A quantidade de frutose, glicose e sacarose presente nos extratos de yacon foram determinadas por Cromatografia Líquida de Troca Iônica (HPAEC-PAD), sistema Metrohm – 850 Professional IC (Metrohm, Herisau, Switzerland) equipado com um

auto-injetor Metrohm – 919 IC Autosampler Plus (Metrohm, Herisau, Switzerland), um detector de pulso amperométrico Metrohm – 896 Professional Detector (Metrohm, Herisau, Switzerland) e com o software MagiC Net 2.4, conforme proposto por Mendes (2016).

Os açúcares foram separados por meio de uma pré-coluna (Metrohm, Herisau, Switzerland) acoplada a coluna analítica Carb 1 (Metrohm, Herisau, Switzerland) com dimensões de 5 µm, 150 x 4,0 mm. A fase móvel foi composta de NaOH 0,2 mol/L a uma taxa de fluxo de 1 mL/min. As amostras foram filtradas em papel filtro qualitativo para filtragem, para remoção da fração insolúvel. Em seguida a fração solúvel foi centrifugada (Eppendorf, Alemanha) (6586 xg por 10 minutos), procedendo a diluições 1:1000 antes da injeção no cromatógrafo. Dez microlitros de amostra foram injetados e corridos durante 15 min a 35 °C. Os açúcares foram identificados por comparação dos tempos de retenção de padrões (frutose, glicose e sacarose) previamente injetados e quantificados pela área dos picos observados nos cromatogramas.

2.7.Determinação de frutanos totais dos extratos aquosos de yacon

O teor de frutanos totais foi determinado de acordo com Pedreschi et. al. (2003) adaptado por Mendes (2016). Em um tubo de ensaio, precisamente, 0,05 mL da solução contendo enzima inulinase (Megazyme, County Wicklow, Irlanda) em tampão de acetato 50 mM, pH 4,5, foi adicionado a 0,1 mL de extrato. A solução foi então misturada e incubada em banho-maria a 40 °C durante 30 min. A quantidade de frutose e glicose após a reação enzimática foi determinada por HPAEC-PAD como descrito no item 2.6.

Os teores iniciais de frutose, glicose e sacarose obtidos, previamente, nas amostras por HPAEC-PAD, foram subtraídos dos açúcares liberados pela hidrólise enzimática.

A concentração de frutanos totais foi calculada de acordo com Prosky (2000) e Pedreschi et al. (2003), conforme as equações 1 e 2 abaixo:

$$G = G_t - S/1,9 - G_f \quad \text{(Equação 1)}$$

$$F = F_t - S/1,9 - F_f \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que G: glicose a partir de FOS ou inulina, Gt: glicose total, F: frutose de FOS ou inulina, Ft: frutose total, S/1,9: glicose ou frutose a partir de sacarose inicial, Gf: glicose livre inicial e Ff: frutose livre inicial.

O conteúdo total de FOS ou inulina é a soma de G e F, corrigido para a perda de água durante a hidrólise. Desta forma:

$$\text{Total de FOS ou Inulina} = k(G + F) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que $k = 0,925$, para FOS (média DP = 4) e $k = 0,91$, para a inulina (média DP = 10). Os resultados foram expressos como g de frutanos por 100 mL de extrato.

2.8. Análise estatística

Os efeitos principais (Agente, Preparo e Tempo) e de interação (Agente*Preparo, Agente*Tempo, Preparo*Tempo, Agente*Preparo*Tempo) sobre as variáveis respostas foram analisados por meio da Análise de Variância (ANOVA), a 5% de probabilidade. Os tipos de agentes, com diferença significativa, foram comparados por meio de teste de médias de Duncan, a 5% de significância. Também foi realizado teste de contraste para comparar cada tratamento com o controle.

Para os efeitos significativos relacionados ao tempo, foram ajustados modelos de regressão para relacionar as variáveis respostas em função do tempo de armazenamento. As análises estatísticas foram realizadas no *software Statistical Analysis System (SAS)*, versão 9.4, licenciado para a Universidade Federal de Viçosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Valores de pH dos extratos aquosos de yacon

Pela análise de variância (ANOVA), constatou-se que os efeitos principais e das interações duplas (Agente*Preparo, Agente*Tempo e Preparo*Tempo) foram significativos ($p \leq 0,05$). Desta forma, foram realizados os desdobramentos a fim de identificar a influência de cada Agente, Preparo ou do Tempo, na variação do pH.

O desdobramento da interação Agente*Preparo apresentou resultado significativo ($p \leq 0,05$) apenas para os extratos produzidos por imersão. Ou seja, independente do agente anti-escurecimento utilizado no preparo do extrato com uso de branqueamento os valores de pH foram semelhantes ($p > 0,05$).

Os extratos produzidos por imersão foram homogeneizados em soluções com valores de pH distintos, por isso houve neste caso diferença significativa no valor de pH para os agentes testados. A Tabela 4 mostra a comparação das médias do valor de pH para os diferentes agentes no preparo do extrato aquoso de yacon por imersão.

Tabela 4 - Médias e desvios padrão do pH entre os diferentes agentes nos extratos aquosos de yacon preparados por imersão.

	Média±DP	p(F)
Controle	4,8500 ± 0,83	
Ascórbico	4,2530 ^b ± 0,33	*
Cisteína	4,5590 ^a ± 1,07	ns
Cítrico	3,5730 ^c ± 0,14	*
Tartárico	3,5090 ^c ± 0,12 ^{vb}	*

Médias seguidas de mesma letra, na comparação entre os preparos com agente anti-escurecimento, não diferem entre si, pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

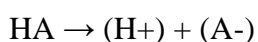
*Contrastes significativo à 5% de probabilidade, pelo Teste F, em relação ao controle.

^{ns} Contrates não significativo à 5% de probabilidade, pelo Teste F, em relação ao controle.

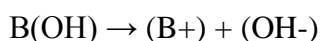
Os extratos produzidos por imersão em solução contendo ácidos cítrico ou tartárico apresentaram as menores médias de pH que não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Duncan. Em comparação com o controle, apenas o pH do extrato produzido com cisteína não apresentou diferença estatística ao nível de 5%. Vasconcelos et. al. (2015) também encontraram os menores valores de pH para yacon

minimamente processado tratado com ácido tartárico e cítrico, isso porque o ácido tartárico e o ácido cítrico possuem uma forte capacidade de acidificação, devido à seus baixos valores de pKa ($pK_1 = 3,12$; $pK_1 = 3,13$, respectivamente). O ácido ascórbico apresentou valor de pH um pouco maior por possuir um pka mais elevado, $pK_1 = 4,2$ (ROSA et. al., 2007). A cisteína apresenta um pka de 8,3, por isso seu pH foi próximo ao do extrato controle que, foi homogeneizado com água deionizada; portanto o sistema controle e aquele contendo cisteína não apresentaram diferença estaticamente significativa ($p > 0,05$).

De acordo com a definição de Arrhenius, um ácido é qualquer substância que se dissocia em meio aquoso:



E uma base é qualquer substância que em meio aquoso se dissocia da seguinte forma:



A constante de ionização de um ácido (K_a) ou uma base (K_b) representa a porcentagem de íons formados na dissociação, sabendo-se que nem todo ácido ou base se dissocia completamente. Quanto maior o K_a de um ácido, mais ele se dissocia, maior a quantidade de íons H^+ formados, mais forte será o ácido e menores serão seus valores de pKa e pH, sabendo que (PREVIDELLO et. al., 2006):

$$pK_a = -\log K_a \text{ e } pH = pK_a + \log \frac{A^-}{HA}$$

Os valores de pH dos extratos produzidos por branqueamento não apresentaram diferença significativa ao nível de 5%, possivelmente devido ao fato do yacon ter sido homogeneizado com água deionizada em todos os tratamentos. No branqueamento todos os extratos tiveram valores de pH iniciais próximos da neutralidade posto que o pH da água estava em um valor médio igual a 7.

Em relação ao desdobramento da interação Preparo*Tempo, a variação do pH nos extratos foi significativa ($p \leq 0,05$) em função do tempo de armazenamento tanto para os extratos produzidos por branqueamento quanto por imersão. A Tabela 5 mostra as equações de regressão ajustadas.

Tabela 5 - Equações de regressão da variação do pH nos extratos aquosos de yacon produzidos por branqueamento ou imersão em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficientes de determinação (R²) e níveis de probabilidade (p).

Preparo	Modelo de regressão	R²	p(F)
Branqueamento	$\text{pH} = 5,7294 - 0,1012X + 0,0015X^2$	0,9788	<0,0001*
Imersão	$\text{pH} = 4,8716 - 0,0872X + 0,0015X^2$	0,8814	0,0019*

* significativo a 5% de probabilidade

As equações de regressão foram ajustadas por meio de modelos de segundo grau. Com o tempo houve uma redução do pH nos extratos produzidos por branqueamento até o 34º dia (ponto de mínimo da função) de armazenamento e nos produzidos por imersão até o 29º dia. O valor de pH de todos os extratos estabilizou em valores próximos de 4. Os extratos produzidos por branqueamento levaram mais tempo (dias) para alcançar esse pH porque eles apresentavam valores iniciais maiores de pH como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Valores iniciais de pH dos extratos produzidos com cada agente por imersão e branqueamento

Ácido Tartárico Imersão	3,68
Ácido Tartárico Branqueamento	5,23
Ácido Cítrico Imersão	3,78
Ácido Cítrico Branqueamento	5,10
Ácido Ascórbico Imersão	4,70
Ácido Ascórbico Branqueamento	5,54
Cisteína Imersão	6,50
Cisteína Branqueamento	6,45
Controle Imersão	6,37
Controle Branqueamento	6,71

Para verificar a relação entre a redução do pH e o tempo de armazenamento, foi realizada uma análise microbiológica de dois extratos apenas, sendo selecionados aquele com maior e menor pH inicial (cisteína e ácido tartárico, respectivamente), ambos preparados com imersão. O tratamento escolhido foi a imersão porque neste era

possível obter extratos com pH baixo, que não sofreu alteração do mesmo com o tempo (extrato produzido com ácido tartárico por imersão) e extratos com pH inicial elevado, que sofreu queda de pH ao longo do tempo (extrato produzido com cisteína por branqueamento).

Nas placas de BDA não houve crescimento de bolores e leveduras para os extratos contendo ácido tartárico e cisteína. Já nas placas de MRS não houve crescimento para o extrato contendo ácido tartárico, mas houve para cisteína. Sendo assim o extrato produzido por imersão com ácido tartárico não apresentou crescimento de bactérias lácticas, diferentemente do extrato produzido com cisteína onde foi encontrada uma contagem total de bactérias lácticas de $1,17 \times 10^5$ UFC/mL (Figura 5).



Figura 5 - Placas de ágar MRS contendo extrato aquoso de yacon tratado com cisteína – Contagem total de bactérias lácticas

Para identificar os tipos de bactérias nos extratos com cisteína, foi realizada análise de coloração de gram pelo método de Hucker descrito por Silva et. al. (2007) nestas colônias e verificou-se a presença de bactérias lácticas tipo cocos gram positivos (HAJDENWURCEL, 1998) (Figura 6).

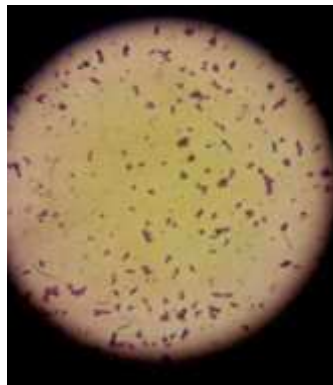


Figura 6 - Imagem microscópica de lâmina de coloração de Gram

Reina et. al. (2015) produziram salmouras com yacon utilizando 2% de NaCl e mostrou que a fermentação foi dominada por LAB (10^9 UFC/g) seguida por leveduras que atingiram uma população de 10^{1-2} UFC/g. Semelhante ao presente estudo, a atividade metabólica de LAB provocou um caimento no pH de 5,77 para 3,7, sendo que a comunidade foi dominada por *Leuconostoc* spp. Segundo Madigan, et. al. (2010) essa queda ocorre pela produção de ácido láctico durante a fermentação. No presente estudo também houve queda de pH dos extratos para valores próximos de 4, o que justifica a queda do pH nos extratos com pH's iniciais elevados.

Para o desdobramento da interação Agente*Tempo, os extratos aquosos de yacon contendo os diferentes agentes anti-escurecimento apresentaram variação do pH durante o armazenamento. A Tabela 6 ilustra as equações de regressão.

Tabela 6 - Equações de regressão da variação do pH nos extratos aquosos de yacon tratados ou não com diferentes agentes anti-escurecimento em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e níveis de probabilidade (p).

Agente	Equações de regressão	R^2	p(F)
Ascórbico	$\text{pH} = 4,98 - 0,022X$	0,93	0,0211*
Cisteína	$\text{pH} = 6,21 - 0,18X + 0,0032X^2$	0,89	<0,0001*
Cítrico	$\text{pH} = 4,0620 \pm 0,61$	-	0,4249 ^{ns}
Controle	$\text{pH} = 6,3 - 0,18X + 0,0033X^2$	0,90	< 0,0001*
Tartárico	$\text{pH} = 4,0470 \pm 0,68$	-	0,5049 ^{ns}

* significativo à 5% de probabilidade, ns não significativos à 5% de probabilidade

p (F) - p valores referentes aos modelos

Os extratos produzidos por cisteína e o extrato controle que tiveram um pH médio inicial maior, 6,21 e 6,3 respectivamente, mostraram maior tendência de redução com o tempo de armazenamento, sendo que o extrato produzido por cisteína apresentou queda de pH até o 28º dia (ponto de mínimo da função) e o controle até o 27º. Isso ocorre porque a maioria dos microorganismos cresce melhor em valores de pH em torno de 7, apesar de alguns poucos crescerem em pH abaixo de 4 (JAY, 2005). Portanto os ácidos cítrico e tartárico por apresentarem valores médios de pH mais baixos tornaram os extratos menos susceptíveis a ação das bactérias.

As bactérias tendem a ser mais exigentes em termos de pH do que mofo e leveduras. Alguns alimentos possuem característica tamponante, devido ao seu conteúdo de proteína, como a carne. Como os vegetais normalmente são pobres em

proteínas não possuem a capacidade de resistir a variação do pH durante o crescimento microbiano (JAY, 2005).

Apesar da Anova ter sido significativa para os extratos produzidos com os ácidos cítrico e tartárico, não foi possível o ajuste de modelos lineares ou quadráticos para explicar a variação do pH, pois os p valores apresentados foram não significativos, o que impossibilitou o ajuste de uma equação de regressão.

3.2. Análise instrumental de cor dos extratos aquosos de yacon

Os resultados da ANOVA mostram efeito significativo ($p \leq 0,05$) do Agente anti-escurecimento sobre a variável resposta luminosidade (L), ou seja, houve diferença na luminosidade dos extratos de acordo com o agente aos quais foram submetidos. Na Tabela 7 apresenta-se a comparação das médias de L para os diferentes agentes.

Tabela 7 - Médias e desvios padrão de L nos extratos aquosos de yacon preparados com diferentes agentes anti-escurecimento.

Agente anti-escurecimento	L	
	Média±DP	p(F)
Controle	39,0390 ± 9,09	
Ascórbico	57,1660 ^a ± 6,34	*
Cisteína	54,3930 ^b ± 6,27	*
Cítrico	56,4090 ^{ab} ± 6,16	*
Tartárico	56,5150 ^{ab} ± 6,27	*

Letras diferentes na coluna representam médias significativamente distintas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Duncan. *significativo a 5% de probabilidade em relação ao controle, por contraste.

O valor de L representa o quão mais clara ou mais escura é a amostra, sendo que este valor pode variar de 0 (totalmente preta) a 100 (totalmente branca) (RAMOS & GOMIDE, 2009). Os extratos controle apresentaram média menor de L mais próximo do preto (Figura 8), pois neste houve escurecimento enzimático. Todos os outros agentes diferiram estatisticamente do extrato controle. Vasconcelos et. al. (2015) encontraram para yacon minimamente processado um valor médio de L de 48,05. Assim os extratos apresentaram coloração mais clara, pois os valores médios de L são maiores, variando de 54,39 a 57,17. Isso ocorreu porque nos extratos o yacon encontra-se diluído em solução.

O valor de L também variou significativamente ($p \leq 0,05$) com o tempo, porém não foi possível ajustar uma equação de regressão. A Figura 7 mostra os valores de L para os diferentes agentes nos cinco tempos de análise avaliados. O extrato controle produzido por branqueamento apresentou uma queda de L de 48,015 para 39,55, indicando que o tempo teve efeito sobre a luminosidade, ocorrendo ao longo do armazenamento um escurecimento do mesmo.

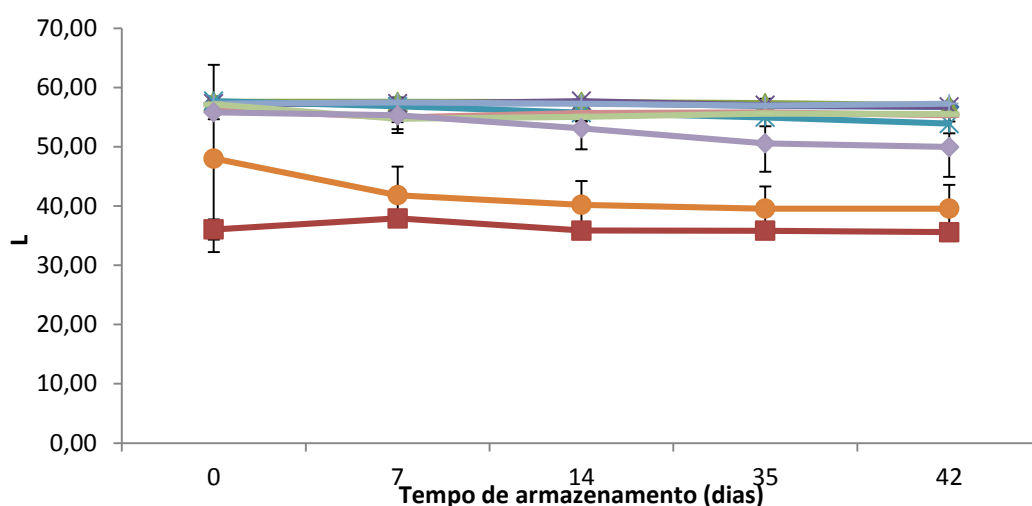
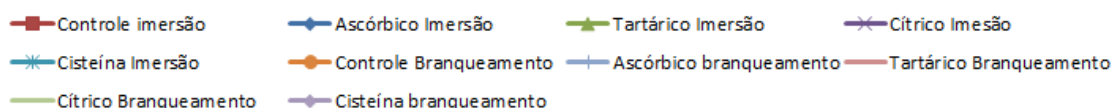


Figura 7 - Valores de luminosidade nos extratos produzidos com diferentes agentes ao longo do tempo de armazenamento

Legenda:



Pela análise de variância (ANOVA), constatou-se que para a variável C (saturação da cor) o efeito principal 'Preparo' variou significativamente ($p \leq 0,05$), ou seja, houve diferença na saturação dos extratos de acordo com o tratamento aos quais foram submetidos. A Tabela 6 apresenta a comparação das médias para os diferentes preparos.

Tabela 8 - Médias e desvios padrão do conteúdo de C nos extratos aquosos de yacon preparados com branqueamento ou imersão.

Preparo	Média±DP
Branqueamento	14,0990 ^a ±2,72
Imersão	11,7774 ^b ±3,20

Letras diferentes na mesma coluna representam médias significativamente distintas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Ducan.

O valor da saturação (C) representa o grau de pureza da cor em relação ao cinza, quanto maior o valor de C mais pura é a cor e conseqüentemente maior é a saturação (RAMOS & GOMIDE, 2009). Os extratos obtidos via branqueamento apresentaram maior valor do índice C do que aqueles preparados por imersão que exibiram mais tons de branco. Posto que os extratos produzidos por branqueamento tiveram maior saturação possivelmente houve a produção de pigmentos devido à ação da enzima polifenoloxidase sobre os compostos fenólicos. Ressalta-se que o yacon *in natura* não apresenta tonalidade elevada de cores. Sendo assim o preparo por imersão foi mais efetivo no controle de formação de pigmentos.

Pela análise de variância (ANOVA), constatou-se que a interação Agente * Preparo variou significativamente ($p \leq 0,05$) para a tonalidade (h) e o índice de escurecimento (IE). Desta forma, foram realizados os desdobramentos a fim de identificar a influência de cada agente.

O desdobramento da interação Agente*Preparo para hue foi significativo ($p \leq 0,05$) para os extratos produzidos por branqueamento e por imersão. Já o índice de escurecimento variou somente para a imersão. Ou seja, a tonalidade foi dependente do tipo de agente, nos extratos obtidos com os dois métodos de preparo avaliados. O valores do índice de escurecimento nos extratos produzidos por branqueamento foram semelhantes ($p > 0,05$), independente do tipo de agente anti-escurecimento utilizado. A Tabela 9 ilustra a comparação de médias de h e IE para os diferentes agentes.

Tabela 9 - Médias e desvios padrão de h e IE entre os diferentes agentes nos extratos aquosos de yacon preparados por imersão e branqueamento.

Agente anti-escurecimento	Imersão				Branqueamento	
	h		IE		h	
	Média±DP	p(F)	Média±DP	p(F)	Média±DP	p(F)
Controle	65,224±13,55		44,659±13,68		82,164±13,55	
Ascórbico	97,319 ^c ±1,16	*	23,620 ^b ±2,24	*	96,085 ^a ±1,16	*
Cisteína	96,057 ^c ±4,78	ns	28,374 ^a ±7,35	ns	88,918 ^b ±4,78	*
Cítrico	102,042 ^b ±1,64	*	14,194 ^c ±2,24	*	96,737 ^a ±1,64	*
Tartárico	105,068 ^a ±1,99	*	12,538 ^c ±1,75	*	94,532 ^a ±1,99	*

Letras diferentes na coluna representam médias significativamente distintas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

* Teste F dos contrastes significativo a 5% de probabilidade em relação ao controle.

^{ns} Teste F dos contrastes não significativo, à 5% de probabilidade, em relação ao controle.

Os valores de tonalidade foram em torno de 90°, com exceção do controle, o que caracteriza tonalidade próxima ao amarelo (RAMOS & GOMIDE, 2009). Vasconcelos et. al. (2015) descreveram resultados semelhantes para o yacon minimante processado. Os ácidos cítricos e tartárico foram os que apresentaram maior tonalidade.

No preparo por imersão, os extratos contendo cisteína e o controle não diferiram estaticamente ($p>0,05$) nos valores médios de h e IE, e apresentaram um desvio padrão maior em relação aos outros agentes, uma vez que seus valores tiveram maior variação com o tempo.

Para o índice de escurecimento (IE) o maior valor médio foi o do extrato controle cuja coloração foi escura (Figura 8). O controle produzido por branqueamento (Figura 8), no qual não houve adição de agentes, assim como no estudo de Campos; Aguilar-Galvez; Pedreschi (2016) apresentou escurecimento. Assim, o branqueamento sem a adição de agentes não foi suficiente para o controle do escurecimento enzimático do yacon.



Figura 8 - Extratos controle produzidos por imersão e branqueamento ao longo do tempo de armazenamento.

Os agentes ácido cítrico e ácido tartárico exibiram menores valores médios de IE possivelmente devido aos seus valores de pH mais baixos já que o pH ótimo da enzima polifenoloxidase encontra-se na faixa entre 6 e 7. A enzima polifenoloxise é inativada em valores de $pH \leq 4$ (ARAÚJO, 2015) (Figuras 9-10).



Figura 9 - Extratos produzidos com ácido ascórbico por imersão e branqueamento ao longo do tempo de armazenamento.



Figura 10 - Extratos produzidos com ácido cítrico por imersão e branqueamento ao longo do tempo de armazenamento.

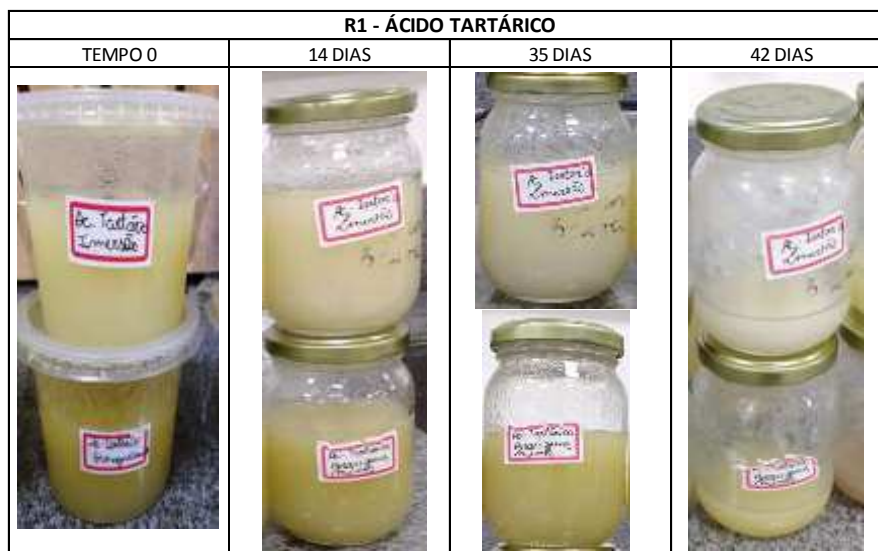


Figura 11 - - Extratos produzidos com ácido tartárico por imersão e branqueamento ao longo do tempo de armazenamento.

Pela análise de variância (ANOVA), constatou-se que a interação Agente * Tempo variou significativamente ($p \leq 0,05$) para tonalidade, índice de escurecimento e saturação. Desta forma, foram realizados os desdobramentos a fim de identificar a influência do tempo nos valores de h, IE e C em cada agente.

O desdobramento da interação Agente*Tempo para as variáveis IE e C foi significativo ($p \leq 0,05$) para os extratos aquosos de yacon controle e cisteína. E para h houve variação apenas no extrato controle. A Tabela 8 ilustra as equações de regressão para a variação de h, IE e C.

Tabela 10 - Equações de regressão da variação de h, IE, C nos extratos aquosos de yacon tratados ou não com diferentes agentes anti-escurecimento em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e níveis de probabilidade (p).

Variáveis	Agente	Modelo de regressão	R^2	p(F)
h	Controle	$h = 73,694 \pm 14,27$	-	0,0586 ^{ns}
IE	Cisteína	$IE = 35,26 - 0,22X$	0,85	0,2933 ^{ns}
	Controle	$IE = 38,770 \pm 13,56$	-	0,0643 ^{ns}
C	Cisteína	$C = 17,9747 - 0,1369X$	0,89	0,0013*
	Controle	$C = 11,767 \pm 3,64$	-	0,2112 ^{ns}

* significativo à 5% de probabilidade, ns não significativos à 5% de probabilidade

p (F) - p valores referentes aos modelos

Não foi possível ajustar modelos lineares ou quadráticos para explicar o efeito do tempo de armazenamento sobre os três índices de cor (h, IE e C) para o extrato controle. Não houve ajuste porque os valores não seguiram uma tendência.

No entanto, para os extratos com cisteína houve ajuste do modelo linear simples indicando uma redução dos valores dos índices de escurecimento e saturação com o aumento do tempo de armazenamento. Como ilustra a Figura 9, ao longo do tempo de armazenamento os extratos contendo cisteína se tornaram mais claros e menos saturados. A redução do índice de escurecimento e do valor de saturação podem ser consequência da queda de pH nesses extratos ao longo do tempo para valores próximos de 4 no qual a ação da enzima polifenoloxidase é inativada (ARAÚJO, 2015).

Oliveira et. al. (2016) encontrou presente nas raízes de yacon os compostos fenólicos: ácido clorogênico, ácido caféico, ácido elágico, rutina, quercetina, apigenina. Sendo que a quercetina foi o composto majoritário. A quercetina se encontra na subclasse dos flavonóis. Foi encontrado na raiz flavonas e flavonóis que apresentam pigmentação amarelo pálido. A cor dos pigmentos vegetais está associada à sua estrutura química, e a sua coloração em meio ácido ou básico dependerá justamente das modificações ocorridas na molécula do pigmento, quando o mesmo é submetido a diferentes valores de pH. Os flavonóis e flavonas em meio ácido apresentam coloração mais brancos. A mudança de pH dos extratos para valores mais baixos pode ter ocasionado nestes um aspecto leitoso, mais branco. A menor saturação em extratos produzidos por imersão também pode estar relacionado a este fator, pois nestes o pH era mais baixo. (BEHLING, 2004; OLIVEIRA et. al. 2016)

O extrato de cisteína produzido com branqueamento apresentou ao longo do tempo uma coloração avermelhada, como mostra a Figura 12, indicando que este modo de preparo não é apropriado para o controle da cor.

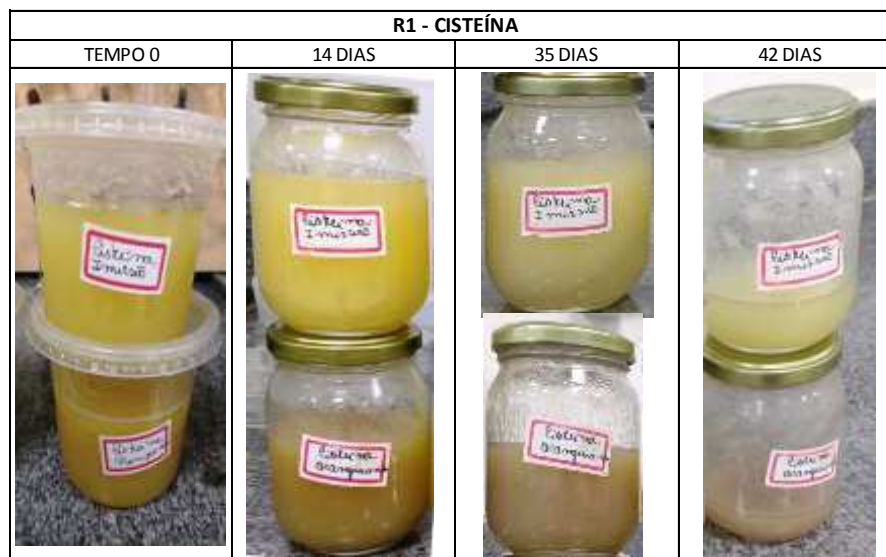


Figura 12 - Extratos produzidos com cisteína por imersão e branqueamento durante tempo de armazenamento.

3.3. Proporções de FOS, sacarose, glicose e frutose dos extratos aquosos de yacon

Os resultados dos conteúdos dos carboidratos FOS, glicose, frutose e sacarose dos extratos aquosos de yacon, ao longo do tempo de armazenamento refrigerado (5 °C), foram expressos em proporção relativa ao seus valores iniciais encontrados no tempo zero. Esse procedimento foi adotado para igualar as concentrações iniciais dos carboidratos nos extratos aquosos, que se diferenciavam devido à variação da composição química das raízes de yacon. Assim, o valor inicial da concentração do carboidrato encontrado (g do carboidrato/100 mL do extrato) foi considerado 1 (ou seja 100%). Os valores das concentrações dos carboidratos encontrados nos tempos de armazenamento subsequentes foram divididos pelo valor inicial, determinando assim, a proporção remanescente dos mesmos.

Pela análise de variância (ANOVA) constatou-se que para a proporção remanescente dos carboidratos (FOS, glicose, frutose e sacarose), o efeito principal Preparo variou significativamente ($p \leq 0,05$), ou seja, houve diferença no conteúdo de carboidratos dos extratos de acordo com o preparo aos quais foram submetidos. A Tabela 11 ilustra a comparação de médias da proporção remanescente dos carboidratos entre os dois tipos de preparo.

Tabela 11 - Médias e desvios padrão da proporção remanescente de FOS, glicose, frutose e sacarose nos extratos aquosos de yacon para o efeito preparo.

Preparo	FOS	Glicose	Frutose	Sacarose
Branqueamento	0,8313 ^a ± 0,37	0,6649 ^b ± 0,32	0,8414 ^b ± 0,44	0,6681 ^b ± 0,45
Imersão	0,6266 ^b ± 0,33	0,9215 ^a ± 0,28	1,1388 ^a ± 0,26	0,9894 ^a ± 0,36

Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Observa-se na Tabela 11 um maior valor médio da proporção de FOS no extrato preparado por branqueamento. Isto sugere maior hidrólise de FOS no preparo por imersão, com conseqüente aumento de frutose. Esse comportamento foi também descrito por Graefe et. al. (2004) que avaliaram as mudanças na composição química de yacon após colheita por 12 dias de armazenamento das raízes em temperatura ambiente. Os autores relataram a redução de FOS com conseqüente aumento na concentração de frutose. Reina et. al. (2015) também atribuíram a elevação da concentração de frutose em produtos fermentados de yacon à hidrólise ácida do FOS. Nos extratos produzidos por branqueamento houve redução do teor de frutose o que pode ter sido causado pela produção de manitol. As bactérias lácteas utilizaram a frutose para produzir manitol.

Houve maior média da proporção remanescente de FOS nos extratos obtidos por branqueamento bem como menor média dos outros açúcares. Os valores de pH mais elevados destes extratos, provavelmente, contribuíram para aumentar a estabilidade das cadeias de FOS posto que o pH é um dos fatores que mais afeta a sua estabilidade química. L'homme et. al. (2003) analisaram a degradação em três padrões de FOS comerciais submetidos a três valores de pH (4, 7 e 9). Houve aumento da estabilidade de FOS em pH 7; em pH 9 não houve degradação durante 24 h mesmo quando submetidas a temperatura de 120 °C; em pH 4 houve a maior degradação.

Além do pH, a maior estabilidade de FOS contido nos extratos branqueados pode estar associada à atividade da enzima frutano exohidrolase (FEH), responsável pela hidrólise dos FOS. Asega (2003) encontrou valores muito baixos para a atividade da FEH em seus estudos cinéticos a 60 °C. O branqueamento a 90 °C, conduzido no presente trabalho, pode ter reduzido a atividade desta enzima e colaborado para uma maior estabilidade de FOS nos extratos.

A redução do conteúdo inicial de glicose e sacarose nos extratos produzidos com branqueamento como visto na Tabela 11 deve-se principalmente aos maiores valores

iniciais de pH que levaram a uma alta fermentação por bactérias lácticas. A redução do conteúdo de carboidratos em produtos de yacon fermentados também foi descrita por Reina et. al. (2015) após 52 dias de fermentação. Este comportamento é esperado, pois segundo Madigan et. al. (2010) a maioria das bactérias lácticas obtém energia somente a partir do metabolismo de moléculas de açúcares.

A Tabela 12 revela que nos extratos contendo cisteína e no controle as concentrações de sacarose foram residuais devido a maior fermentação láctica em valores de pH iniciais mais elevados.

Tabela 12 - Médias e desvios padrão (DP) na proporção remanescente de sacarose nos extratos aquosos de yacon preparados com diferentes agentes anti-escurecimento.

Agente antiescurecimento	Sacarose	
	Média±DP	p(F)
Controle	0,4907 ± 0,48	
Ascórbico	1,1880 ^a ± 0,46	*
Cisteína	0,5942 ^b ± 0,35	ns
Cítrico	1,0029 ^a ± 0,35	*
Tartárico	0,8681 ^{ab} ± 0,35	*

Letras diferentes na coluna, na comparação entre os agente anti-escurecimento, representam médias significativamente distintas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Duncan. *significativo a 5% de probabilidade em relação ao controle, por contraste, pelo teste F. ^{ns} Teste F dos contrastes não significativo, à 5% de probabilidade, em relação ao controle.

Pela análise de variância (ANOVA), constatou-se que a interação Agente*Tempo variou significativamente ($p \leq 0,05$) para sacarose. Desta forma, foram realizados os desdobramentos a fim de identificar a influência do tempo de armazenamento sobre a proporção de sacarose para cada agente.

O desdobramento da interação Agente*Tempo foi significativo ($p \leq 0,05$) para os extratos controle e os produzidos com cisteína e ácido cítrico. As equações de regressão são ilustradas na Tabela 13.

Tabela 13 - Equações de regressão da variação de sacarose nos extratos aquosos de yacon tratados ou não com diferentes agentes anti-escurecimento em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficiente de determinação (R^2) e níveis de probabilidade.

Variáveis	Agente	Modelo de regressão	R^2	p(F)
	Cisteína	Sac = 0,5942 ± 0,35	-	0,0715 ^{ns}
Sacarose	Cítrico	Sac = 1,0029 ± 0,30	-	0,0889 ^{ns}
	Controle	Sac = 0,927 -0,0537X+0,0009X ²	0,85	<0,0001*

* significativo à 5% de probabilidade. ns: não significativo à 5% de probabilidade

p(F) - Significância do modelo

Houve uma redução da sacarose com o tempo, até o 42º dia de armazenamento, para o extrato controle. Isso ocorreu porque o extrato controle teve maior valor de pH e conseqüentemente maior fermentação da sacarose. Para os extratos produzidos com ácido cítrico e cisteína não foi possível ajustar um modelo de regressão linear ou quadrático devido a falta de tendência dos dados.

Pela análise de variância (ANOVA), constatou-se que a interação Preparo * Tempo variou significativamente ($p \leq 0,05$) para proporção de sacarose e glicose. Desta forma, foram realizados os desdobramentos a fim de identificar a influência do tempo de armazenamento sobre a proporção de sacarose em cada preparo.

O desdobramento da interação Preparo*Tempo foi significativo ($p \leq 0,05$) para os extratos produzidos por branqueamento. A Tabela 14 mostra as equações de regressão.

Tabela 14 - Equações de regressão da variação de Glicose e Sacarose nos extratos aquosos de yacon produzidos por branqueamento ou imersão em função do tempo de armazenamento (X), seus respectivos coeficiente de determinação (R^2) e níveis de probabilidade (p).

Variáveis	Agente	Modelo de regressão	R^2	p(F)
Glicose	Branqueamento	Glic = 0,8756-0,0107X	0,8077	<0,0001*
Sacarose	Branqueamento	Sac = 0,8533-0,0094X	0,5598	0,0011*

* significativo à 5% de probabilidade

p(F) – Significância do modelo

As equações de regressão mostram que os conteúdos de glicose e sacarose reduziram com o tempo de armazenamento, devido a fermentação dos mesmos.

O efeito do tempo foi significativo ($p \leq 0,05$) para a proporção de FOS, porém não foi possível um ajuste de um modelo linear ou de segundo grau. Portanto a variação de FOS com o tempo foi representada no gráfico da Figura 13.

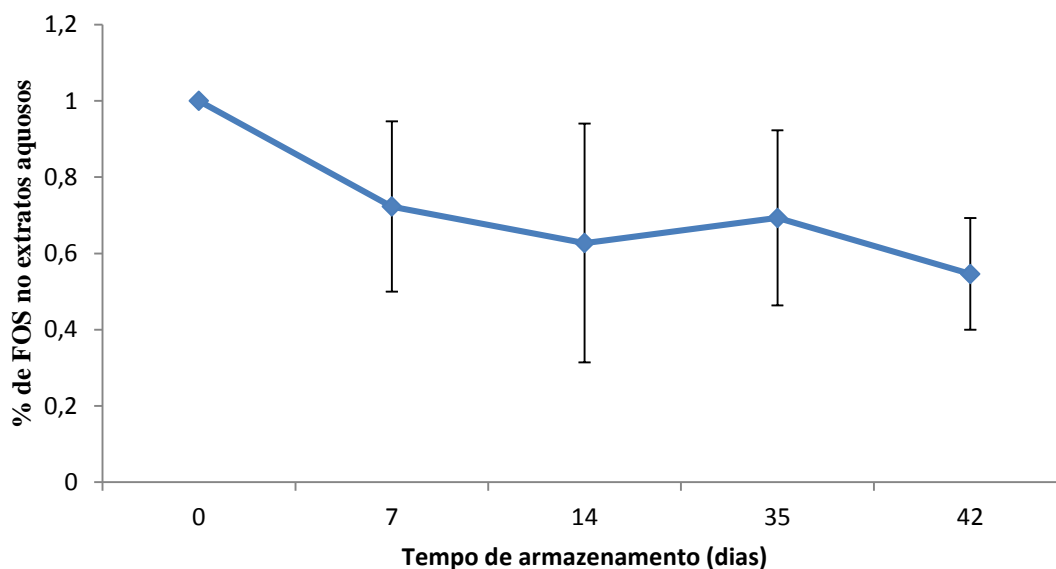


Figura 13 - Variação do conteúdo de FOS nos extratos aquosos com o tempo

Com o tempo de armazenamento o conteúdo de FOS apresentou uma tendência de redução. Resultados semelhantes foram encontrados por Topolska et. al.(2016), que analisaram a estabilidade de FOS em sorvetes de morango adicionados de yacon durante o armazenamento de 180 dias, houve perda de 48,4% ao fim de 12 semanas. Tsutsumi (2015) encontrou um decaimento de 16,39% (30 dias de armazenamento) para 9,38% (180 dias) em um estudo do perfil de degradação de FOS em um produto a base de yacon. Graefe et. al. (2004) também verificaram ao final de 12 dias de armazenamento das raízes de yacon cerca de um terço de redução de FOS em todas as cultivares testadas. Já Berbari et. al. (2009) ao analisarem a estabilidade de FOS em uma geleia acrescentada de suco de yacon armazenada por 180 dias não observou variação no conteúdo de FOS.

No presente estudo houve produção de manitol nos extratos, que tiveram pH's maiores, produzidos com cisteína e no controle de ambos os preparos. A produção de manitol ocorreu nos primeiros dias de armazenamento (Gráfico da Figura 14) diferentemente do estudo de Reina et. al. (2015) onde a produção de manitol somente ocorreu a partir do 30º dia de fermentação. Porém, o pico máximo de produção ocorreu

próximo ao trigésimo dia de armazenamento. O manitol é um adoçante natural de baixo teor calórico com muitas aplicações na indústria alimentar (WEYMARN et. al., 2002).

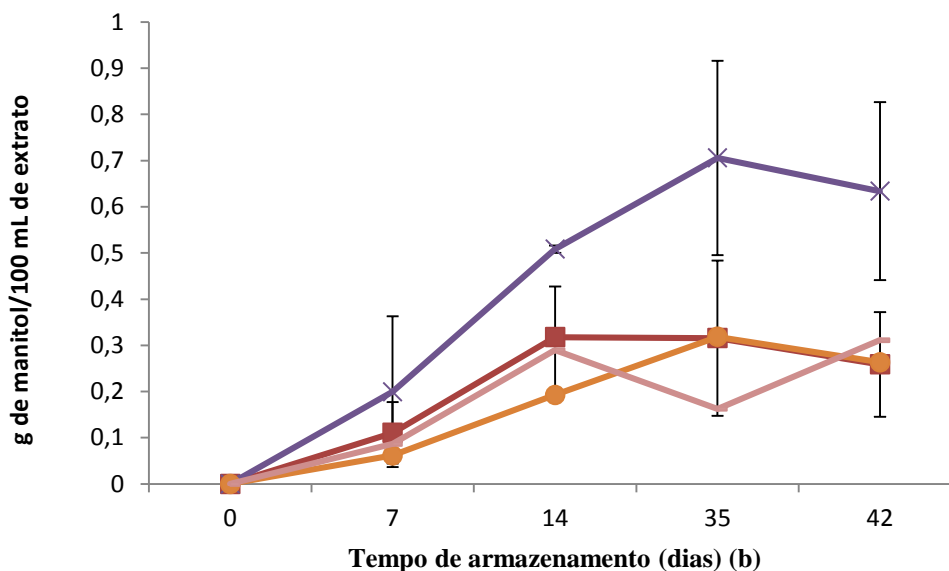


Figura 14 - Produção de manitol nos extratos aquosos de yacon, nas amostras preparadas com cisteína ou controle, em ambos os métodos de preparo, imersão e branqueamento.

Legenda:

■ Cont. imer. × Cist. Imer. ● Cont. Branq. — Cist. Branq.

Os valores no gráfico representam a quantidade em gramas de manitol para cada 100 mL de extrato. Houve uma tendência de aumento da produção de manitol ao longo do tempo, sendo que no tempo de 42 dias houve queda do teor de manitol nos extratos controle e no extrato produzido com cisteína por imersão. Os extratos controle e produzidos com cisteína foram os que apresentaram maiores valores iniciais de pH, como mostra o quadro 1. Por este motivo foram os extratos com maior ação de fermentação das bactérias lácteas, por isso tiveram produção de manitol nos primeiros dias de fermentação. A atividade metabólica de LAB no estudo de Reina et. al. (2015) provocou uma queda no pH para 3,7, e houve produção de manitol a partir do 30º dia de fermentação, com um rendimento maior que o do presente estudo. No 30º dia tiveram uma produção de 1,92 g de manitol por 100 mL de salmoura, sendo que para a produção no extrato foi de 0,70; 0,16; 0,31; 0,31 (g para cada 100 mL de extrato) nos extratos produzidos por cisteína imersão, cisteína branqueamento, controle imersão e controle branqueamento, respectivamente. O melhor rendimento no estudo de Reina et. al.

(2015) pode ter sido devido ao melhor controle da fermentação gerado pela adição de NaCl.

A produção de manitol por vias fermentativas a partir da frutose é de grande interesse para os pesquisadores, pois poderia ser um método mais viável de produzir o mesmo. Pesquisas buscam a produção de manitol por fermentação de forma econômica, tentando encontrar um substrato diferente do usual, que geralmente é peptona e extrato de levedura que apresentam valor econômico elevado (KORAKLI & VOGEL, 2003; RACINE & SAHA, 2007). A produção comercial predominante de manitol é feita por hidrogenação catalítica de uma mistura de frutose e glicose, porém existe uma série de limitações, tais como a produção associada, relativamente difícil de separar o sorbitol, o que diminui rendimentos devido à conversão de apenas metade da frutose em manitol e, portanto, custo de produção mais elevado (SOETAERT et. al., 1999).

O manitol é um adoçante natural de baixo teor calórico, tem muitas aplicações na indústria alimentar, farmacêutica e química. Os valores caloríficos de manitol e sacarose são 1,6 e 4,2 kcal / g, respectivamente (WEYMARN et. al., 2002). Isso o torna aplicável como adoçantes em alimentos de baixo teor calórico.

4. CONCLUSÃO

O branqueamento foi a técnica de preparo que apresentou maior estabilidade dos frutooligossacarídeos ao longo do tempo. Em relação a preservação da cor e consequente preservação dos compostos fenólicos a técnica de imersão foi melhor, pois os extratos apresentaram valores menores de pH, o que resultou na inativação da enzima polifenoxidase. Porém a técnica de branqueamento foi escolhida porque manteve melhor a estabilidade de FOS.

Em relação aos agentes, a adição de cisteína não forneceu bons resultados de cor. Os extratos produzidos com cisteína apresentaram valores altos de pH, o que facilitou a ação da enzima polifenoxidase. Apesar de o ácido ascórbico ter apresentado bons resultados para cor não foi escolhido porque é um composto instável.

Os ácidos cítrico e tartárico apresentaram menores valores de pH o que conferiu a eles menor IE, apresentando-se mais claros. Também tiveram maior tonalidade, exibindo a cor amarela característica da raiz. Por terem apresentado bons resultados de cor resultam em melhor estabilidade dos compostos fenólicos. O ácido tartárico é viável economicamente e de fácil manuseio.

Como não houve diferença significativa entre os agentes para estabilidade de FOS, o ácido tartárico foi escolhido como forma de dar continuidade aos bons resultados obtidos para este ácido na mesma linha de pesquisa. Assim o extrato escolhido foi o extrato produzido com ácido tartárico pela técnica de branqueamento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. **Official Methods of Analysis of the AOC International**. 16 th ed. Gaitherburg: 1997.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de Alimentos Teoria e prática**. 6ª ed. Viçosa: UFV, 2015. 667 p.
- ASEGA, A.F. **Enzimas do metabolismo de frutanos em *Vernonia herbacea* (VELL.) Rusby**. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas. 98 p. Piracicaba, SP. 2003.
- BEHLING, E.B.; SENDÃO, M. C.; FRANCESCATO, H. D. C; ANTUNES, L. M. G.; BIANCHI, M. L. P. Flavonóide quercetina: aspectos gerais e ações biológicas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 15, n. 3, p. 285-292, 2004.
- BERBARI, S. A. G.; PACHECO, M. T. B.; SILVA, M. G.; NACAZUME, N. Stability of the functional components of yacon, guava and west indian cherry jam, with no added sugar. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 285-294, 2009.
- BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R. PAULA, C. D.; VIDIGAL, J. G. SILVA, N. A.S.; CALIMAN, F. R. B. Yacon na alimentação humana: aspectos nutricionais, funcionais, utilização e toxicidade. *Scientia Amazonia*, v.1, n. 3, p 3-16, 2012.
- CAMPOS, D.; AGUILAR-GALVEZ, A.; PEDRESCHI, R. Stability of fructoolisaccharides, sugar and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v.51, n.5, p. 1177- 1185, 2016.
- GRAEFE S.; HERMANNB, M.; MANRIQUEB, I; GOLOMBEKA, S.; BUERKERT, A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v. 86, n 2-3, p.157-165, 2004.
- GROBBEN, G.J.; PETERS, S.W.P.G.; WISSELINK, W. H.; WEUSTHUIS, R.A.; HOEFNAGEL, M.H.N.; HUGENHOLTZ, J.; EGGINK, G. Spontaneous formation of a mannitol-producing variant of *Leuconostoc pseudomesenteroides* grown in the presence of fructose. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, n.6, p. 2867–2870, 2001.

- HAJDENWURCEL, J.R. **Atlas de microbiologia de alimentos**. São Paulo: Fonte, 1998. v. 1.
- JAY, J.M. **Microbiologia de Alimentos**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711 p.
- KIM, C.Y.; LEE, J.H.; KIM, B.H.; YOO, S.K.; SEO, E.S.; CHO, K.S.; DAY, D.F.; KIM, D. Production of mannitol using *Leuconostoc Mesenteroides* NRRL B-1149. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, v. 7, p. 234–236, 2002.
- KORAKLI, M.; VOGEL, R. F. Purification and characterisation of mannitol dehydrogenase from *Lactobacillus sanfranciscensis*. *FEMS Microbiology Letters*, v. 220, p. 281-286, 2003.
- L'HOMME, C.; ARBELOT, M.; PUIGSERVER, A.; BIAGINI, A. Kinetics of hydrolysis of fructooligosaccharides in mineral-buffered aqueous solutions: Influence of pH and temperature. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n.1, p.224-228, 2003.
- MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; DUNLAP, P.V.; CLARK, D.P. **Microbiologia de Brock**. 12ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 1160 p.
- MENDES, A. C. G. Dados ainda não publicados do Laboratório de Operações e Processos – LOP. Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA). Universidade Federal de Viçosa (UFV).
- OLIVEIRA, P. M.; COELHO, R. P.; PICCOLI, J. C. E. ; MANFREDINI, V. Análise fitoquímica do extrato liofilizado das folhas e raízes do Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Anais do 8º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão – Universidade Federal do Pampa, 2016.
- PATHARE, P.B.; OPARA, U.L.O.; AL-SAID, F.Al-J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technology**, 2012.
- PATRA, F.; TOMAR, S., RAJPUT, Y., SINGH, R. Characterization of mannitol producing strains of *Leuconostoc* species. *World Journal Microbiology Biotechnology*. v. 27, n. 4,p. 933–939, 2011.
- PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D. , NORATTO, G.; CHIRINOS, R.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Alean Yacon Root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp.Endl) Fructooligosaccharides as a Potential Novel Source of Prebiotics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 51, n.18, p. 5278-5284, 2003.

- PREVIDELLO, B. A. F.; CARVALHO, F. R.; TESSARO, A. L.; SOUZA, V. R.; HIOKA, N. O pKa de indicadores ácido-base e os efeitos coloidais. *Química Nova*. v.29, n.3,São Paulo, 2006.
- PROSKY, L. What is fibre ? Current controversies. **Trends in Food Science and Technology**, v. 10, p. 271-275, 1999.
- RACINE, F. M.; SAHA, B. C. Production of mannitol by lactobacillus intermedius nrrl b-3693 in fed-batch and continuous cell-recycle fermentations. *Process Biochemistry*, v. 42, p. 1609–1613, 2007.
- RAMOS, E. M.; GOMIDE, L.A.M. **Avaliação da qualidade de carnes: Fundamentos e Metodologias**. 1ª ed. Viçosa: UFV, 2007, 599 p.
- REINA, L.D.; PÉREZ-DÍAZ I.M.; BREIDT, F.; AZCARATE-PERIL, M.A.; MEDINA, E.; BUTZ N. Characterization of the microbial diversity in yacon spontaneous fermentation at 20 °C. **International Journal of Food Microbiology**, v. 203, p. 35–40, 2015.
- RODRIGUES, O. R. L.; ASQUIERI, E. R.; ORSI, D. C. Prevention of enzymatic browning of yacon flour by the combined use of anti-browning agents and the study of its chemical composition. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, p. 275-280, 2014.
- ROSA, J. S.; GODOY, R. L. O.; NETO, J. O.; CAMPOS, R. S.; MATTA, V. M., FREIRE, C. A.; SILVA, A. S.; SOUZA, R. S. Desenvolvimento de um método de análise de vitamina C em alimentos por cromatografia líquida de alta eficiência e exclusão iônica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 837-846, 2007.
- SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C.A.; SILVEIRA, N. F.A.; TANIWAKI, M.H.; SANTOS, R.F.S.; GOMES, R.A.R. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3ª ed. São Paulo: Livraria Varela, 2007. 552 p.
- SOETAERT W.; VANHOOREN P. T. ; VANDAMME, E. J. Production of mannitol by fermentation. *Methods Biotechnology*, v. 10, p. 261–275, 1999.
- TOPOLSKA, K.; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, A.; FLORKIEWICZ, A.; CIESLIK, E. Fructan stability in dependence on their source and the period of storage. **European Food Research and Technology**, p. 1-9, 2016.
- TSUTSUMI N. P. **Avaliação físico-química, microbiológica e aceitabilidade de um produto a base de raiz de yacon (*Smallanthus sonchifolius*), fonte de**

- frutoligosacarídeos, em diferentes condições de armazenamento.** Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de Magister Scientiae.2015.
- VASCONCELOS, C. M.; SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J. Q.; CHAVES, J. B.P.; MARTINO, H. S. D . Determinação da fração da fibra alimentar solúvel da raiz e farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) pelo método enzimático-gravimétrico e cromatografia líquida de alta eficiência. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 188-193, 2010.
- VASCONCELOS, C. M.; OLIVEIRA, E. B.; ROSSI, N.R.; ARANTES, L. F.; PUSCHMANN, R.; CHAVES, J.B.P. Evaluating Strategies to Control Enzymatic Browning of Minimally Processed Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food and Bioprocess Technology**, v.8, n. 9, p. 1982-1994, 2015.
- VASCONCELOS, C. M; SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J.Q.; CHAVES, J. B.P.; MARTINO, H. S. D.. **Estratégias para preservação da qualidade de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) minimamente processado e separação de suas fibras.** Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de pós- graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos para obtenção do título de Doctor Scientiae, p. 123. 2014.
- WEYMARN, V. N.; HUJANEN, M.; LEISOLA, M. Production of D-mannitol by heterofermentative lactic acid bacteria. **Process Biochemistry**, v. 37, p. 1207–1213,2002.

CAPÍTULO 3

Influência da concentração e secagem do extrato aquoso de yacon na estabilidade dos FOS

1. INTRODUÇÃO

A conservação de alimentos pela secagem se baseia no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico, necessitam de quantidade de água suficiente para suas atividades (LOPES et. al., 2015).

Como o yacon é uma raiz com elevada atividade de água de $0,994 \pm 0,001$ (SCHER; RIOS; NOREÑA, 2009), a etapa de desidratação é uma alternativa para aumentar sua vida de prateleira (SCHER; RIOS; NOREÑA, 2009).

O principal fator limitante para a utilização de temperaturas elevadas (acima de 60 °C) no processo de secagem de yacon é a despolimerização dos FOS (LOPES, et. al.; 2015). Scher; Rios; Noreña (2009) encontraram na secagem de yacon a 70 °C um aumento no teor de açúcar redutor, como consequência da hidrólise de FOS.

Desta forma, faz-se necessário estudar a influência de diferentes operações unitárias de concentração e secagem sobre o conteúdo de FOS do extrato. Bem como a influência da atividade de água sobre a estabilidade dos mesmos ao longo do tempo de armazenamento. Rodrigues et. al. (2011) e Vasconcelos et. al. (2010) secaram raízes de yacon a 55 °C/48 horas em secador de circulação de ar e obtiveram farinhas com concentrações de FOS de 25,7% e 19,4% respectivamente. Genta et. al. (2009) concentraram yacon em um evaporador a 120 °C e obtiveram um xarope com 41% de FOS. Já Lobo et. al. (2007) e Scheid et. al. (2014) conseguiram melhores resultados na liofilização das raízes obtendo produtos com 55,3% e 41,2 % de FOS, respectivamente.

Para isso, o presente trabalho aplicou três operações distintas para reduzir o teor de água do extrato aquoso de yacon, quais sejam a: concentração a vácuo, secagem a vácuo e liofilização. O vácuo permite que a água seja removida sob pressões reduzidas. Em baixas pressões a água evapora em temperaturas mais brandas, o que permite o uso de 30 a 60 °C. E na liofilização a água evapora por sublimação em temperaturas e pressões mais baixas que as características do ponto triplo. O uso de temperaturas mais baixas é importante para manter a estabilidade de compostos termo sensíveis (GAVA; SILVA; FRIAS, 2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Delineamento Experimental

O extrato aquoso de yacon foi submetido a três operações unitárias para redução do seu teor de água: concentração a vácuo, secagem a vácuo e liofilização.

Os extratos submetidos as operações de liofilização e secagem a vácuo foram armazenados em frascos de plásticos hermeticamente fechados, em temperatura ambiente (25 °C). Já o extrato submetido a concentração a vácuo foi armazenado em frascos de vidros e submetidos a mesma temperatura de armazenamento. O extrato controle não foi submetido às operações de redução do teor de água, sendo apenas armazenado sob refrigeração (5 °C).

Os extratos foram monitorados quanto ao teor de umidade, atividade de água, conteúdo de FOS, sacarose, glicose e frutose nos tempos 0, 7, 14, 21 e 30 dias de armazenamento. O experimento foi realizado seguindo um delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, no qual as operações de redução de água (3 operações + 1 controle) localizam-se nas parcelas, e o tempo de armazenamento (0, 7, 14, 21 e 30), nas subparcelas, com 2 repetições, totalizando 40 unidades experimentais.

2.2. Preparo do extrato aquoso de yacon

As fatias de yacon foram lavadas em água corrente e imersas em água sob ebulição contendo 0,041 mol/L de ácido tartárico por 4 minutos, numa proporção yacon:solução de ácido tartárico de 1:5 (m/v), como realizado por Campos; Aguilar-Galvez; Pedreschi (2016). Decorrido esse tempo, as fatias foram transferidas para um recipiente contendo água deionizada homogeneizada com 0,05% de sorbato de potássio e 0,05% de benzoato de sódio, numa proporção yacon:água deionizada de 1:1 (m/v) e, na sequência, foram trituradas em um mix (Walita Philips, Brasil) até apresentar uma aparência homogênea por 3 minutos, como realizado por Vasconcelos (2014).

O extrato aquoso obtido foi submetido à sonicação em ultrassom, visando aumentar a quantidade de FOS na fase solúvel do extrato, seguindo a metodologia proposta por Mendes (2016). Cerca de 250 mL do extrato foi sonicado em processador

ultrassônico, modelo DES500 (Unique, Brasil) operando com frequência de 20 kHz e potência de 500 W, em câmara de aço inoxidável, utilizando uma sonda com face emissor de 19 mm de diâmetro, mantida imersa 1 cm abaixo da superfície do material. O material foi submetido à sonicação com amplitude de 60% e tempo de 330 segundos. A temperatura foi mantida constante (15 °C) durante todo processo de sonicação por imersão do béquer contendo o extrato em banho de gelo.

2.2.1. Redução de água do extrato aquoso de yacon

Após obtenção do extrato aquoso de yacon, o mesmo foi submetido a três operações para redução do teor de água:

✓ Concentração a vácuo:

O extrato aquoso de yacon foi filtrado em papel de filtro qualitativo para remoção da fração insolúvel. Em seguida a fração solúvel foi centrifugada (Eppendorf, Alemanha) (6586 xg por 10 minutos) e concentrada em um rotavapor (Marconi, Brasil), de acordo com testes preliminares, sob vácuo, empregando um banho termostaticado de água a 50 °C, até 60 ° Brix.

✓ Secagem a vácuo:

Dez mililitros do extrato aquoso de yacon foram depositados em placas de petri e secos em uma estufa a vácuo (Tecnal, Brasil) a uma temperatura de 50 °C por 48 h, como definido previamente em testes preliminares.

✓ Liofilização:

Dez mililitros do extrato aquoso de yacon foram depositados em placas de petri e congelados em *ultra freezer* (GE, Brasil). Em seguida foi liofilizado (Terroni, Brasil) por 36 h a -39 °C, como definido previamente por meio de testes.

2.3. Quantificação de sacarose, glicose, frutose e Fos dos produtos de yacon

As quantidades de frutose, glicose e sacarose presente nos extratos de yacon foram determinadas por Cromatografia Líquida de Troca Iônica (HPAEC-PAD), sistema Metrohm – 850 Professional IC (Metrohm, Herisau, Switzerland) equipado com um auto-injetor Metrohm – 919 IC Autosampler Plus (Metrohm, Herisau, Switzerland), um detector de pulso amperométrico Metrohm – 896 Professional Detector (Metrohm, Herisau, Switzerland) e com o software MagiC Net 2.4, conforme proposto por Mendes (2016).

Os açúcares foram separados por meio de uma pré-coluna (Metrohm, Herisau, Switzerland) acoplada a coluna analítica Carb 1 (Metrohm, Herisau, Switzerland) com dimensões de 5 µm, 150 x 4,0 mm. A fase móvel foi composta de NaOH 0,2 mol/L a uma taxa de fluxo de 1 mL/min. Pesaram-se 0,3 g dos produtos em pó e 0,5 g do produto concentrado, que foram diluídos em 10 mL de água deionizada. Em seguida a mistura foi centrifugada (Eppendorf, Alemanha) (6586 xg por 10 minutos), procedendo a diluições 1:1000 antes da injeção no cromatógrafo. Dez microlitros de amostra foram injetados e corridos durante 15 min a 35 °C. Os açúcares foram identificados por comparação dos tempos de retenção de padrões (frutose, glicose e sacarose) previamente injetados e quantificados pela área dos picos observados nos cromatogramas.

O teor de frutanos totais foi determinado de acordo com Pedreschi et. al. (2003) adaptado por Mendes (2016). Em um tubo de ensaio, precisamente, 0,05 mL da solução contendo enzima inulinase (Megazyme, County Wicklow, Irlanda) em tampão de acetato 50 mM, pH 4,5, foi adicionado a 0,1 mL da mistura. A solução foi então misturada e incubada em banho-maria a 40 °C durante 30 min. A quantidade de frutose e glicose após a reação enzimática foi determinada por HPAEC-PAD.

Os teores iniciais de frutose, glicose e sacarose obtidos, previamente, nas amostras por HPAEC-PAD, foram subtraídos dos açúcares liberados pela hidrólise enzimática.

A concentração de frutanos totais foi calculada de acordo com Prosky (2000) e Pedreschi et al. (2003), conforme as equações 1 e 2 abaixo:

$$G = G_t - S/1,9 - G_f \quad (\text{Equação 1})$$

$$F = Ft - S/1,9 - Ff \quad (\text{Equação 2})$$

Em que G: glicose a partir de FOS ou inulina, Gt: glicose total, F: frutose de FOS ou inulina, Ft: frutose total, S/1,9: glicose ou frutose a partir de sacarose inicial, Gf: glicose livre inicial e Ff: frutose livre inicial.

O conteúdo total de FOS ou inulina é a soma de G e F, corrigido para a perda de água durante a hidrólise. Desta forma:

$$\text{Total de FOS ou Inulina} = k(G + F) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que $k = 0,925$, para FOS (média DP = 4) e $k = 0,91$, para a inulina (média DP = 10). Os resultados foram expressos como g de FOS por 100 gramas de cada produto.

2.4. Determinação da atividade de água dos produtos de yacon

A atividade de água dos extratos de yacon foi determinada por meio do medidor de atividade de água Aqualab Model Series 3ET – Decagon / Devices, seguindo orientações do fabricante.

2.5. Determinação do teor de umidade dos produtos de yacon

A determinação da umidade dos extratos de yacon foi realizada pelo método de perda por dessecação através de secagem direta em estufa a 105 °C até massa constante, segundo a AOAC (1997).

2.6. Análise de sólidos solúveis

A determinação de sólidos solúveis foi realizada através da adição da amostra em refratômetro portátil (NOVA, BRASIL).

2.7. Cálculo em base seca

$$BS = \frac{\% BU \cdot 100}{100 - U}$$

Onde:

BS – Gramas do carboidrato em 100 gramas do produto seco

BU - Gramas do carboidrato em 100 gramas do produto úmido (valor obtido por cromatografia)

U – umidade do produto

2.8. Análise Estatística

Os efeitos principais e de interação dos fatores operação de redução do teor de água e tempo sobre as variáveis respostas foram analisados por meio da Análise de Variância (ANOVA), a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O extrato foi produzido, homogeneizado e depois submetido às três operações diferentes, dando origem aos produtos concentrado, seco e liofilizado (Figuras 15 e 16).



Figura 15 - Extratos aquosos de yacon concentrado a vácuo



Figura 16 - Extratos aquosos de yacon seco a vácuo e liofilizado

O produto concentrado apresentou um teor inicial de 29,33 % de FOS e 60 ° Brix. Já o xarope de yacon produzido por Genta et. al. (2009) que foi concentrado até 73 °Brix apresentou uma concentração inicial de FOS de 41 %. O extrato seco a vácuo apresentou concentração inicial de FOS de 39,9%. Rodrigues et. al. (2011) e Vasconcelos et. al. (2010) apresentaram quantidades menores em suas farinhas de yacon produzidas pela secagem de yacon em estufa de ventilação forçada a 55 °C, 25,7 e 19,4 %, respectivamente. Já o produto liofilizado apresentou 31,30% de FOS, valor menor do que o encontrado na liofilização da raiz de yacon por Scheid et. al. (2014) e Lobo et. al. (2007), 41,2 % e 55,3 % respectivamente.

A Tabela 15 ilustra os valores de umidade e atividade de água para cada produto. As operações de secagem e concentração reduziram o conteúdo de água do extrato dando origem a produtos de maior facilidade de conservação. Tais operações auxiliam

na concentração dos frutooligossacarídeos, possibilitando a estocagem, transporte e comercialização de um maior conteúdo de FOS em menor volume de produto.

Tabela 15 - Teor de Umidade e atividade de água dos produtos

Atividade de água	% Umidade	Atividade de água
Secagem	4,88	0,3180 ± 0,101
Liofilizado	6,36	0,3123 ± 0,029
Concentrado	37,56	0,8715 ± 0,017
Controle	96,44	0,9904 ± 0,002

Quando os conteúdos de FOS dos produtos foram comparados em base seca o produto concentrado foi o que apresentou maior concentração, 46,97% (b.s.), seguido da secagem a vácuo, 41,94% (b.s.) e em último a liofilização, 39,5 % (b.s.). O extrato controle, no qual não foi realizada nenhuma operação, exibiu no tempo 0 uma concentração de FOS de 42,69% (b.s.). Provavelmente houve despolimerização da cadeia, uma vez que o extrato concentrado apresenta um teor mais elevado de FOS que o extrato in natura. Pode ter acontecido durante a concentração a hidrólise de cadeias maiores em cadeias menores.

Gonçalves (2010) secou extrato líquido de yacon em *spray dryer* e identificou que houve mudanças no tamanho da cadeia de FOS. Ao comparar o extrato antes e após secagem, verificou-se que o uso de temperatura para secagem provocou incremento na quantidade de FOS com GP 4.

Os resultados da ANOVA foram não significativos ($p \leq 0,05$) para os efeitos principais (Tempo e Operação) e de interação (Tempo*Operação) para as variáveis respostas FOS, glicose, frutose e sacarose. Assim o comportamento dos carboidratos foi independente do tipo de operação aplicada ao extrato, nos resultados analisados ao longo de um período de 30 dias de armazenamento dos mesmos. O Gráfico da Figura 17 mostra que o conteúdo de FOS apresentou oscilações, mas apresentou uma boa estabilidade. O extrato controle apresentou bons resultados de estabilidade, porém seria um produto com maior dificuldade de conservação, por apresentar alta atividade de água e umidade.

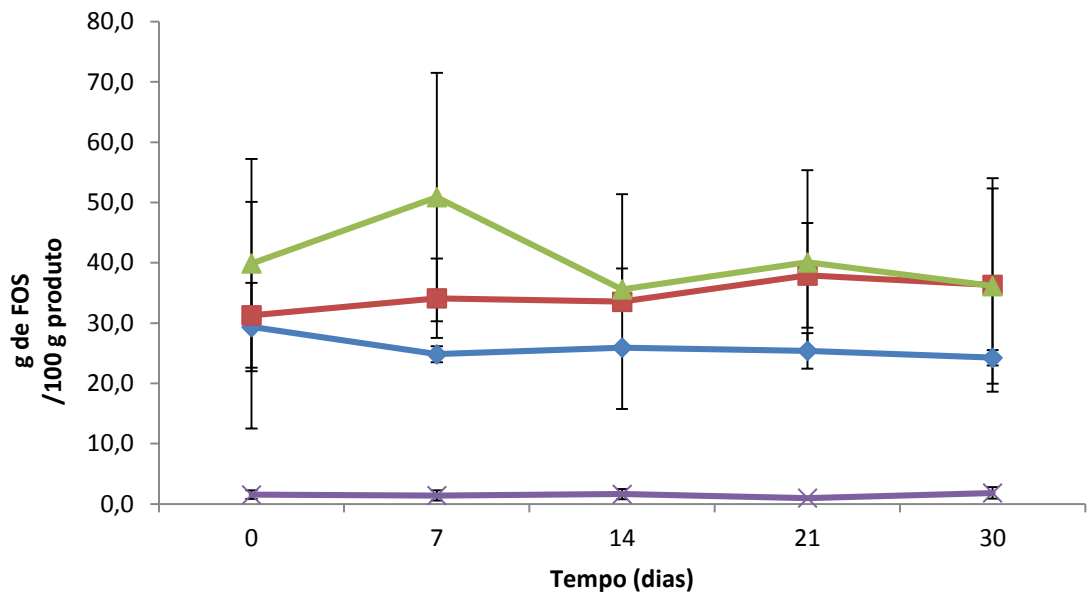


Figura 17 - Conteúdo de FOS nos produtos ao longo do tempo

Legenda:

◆ Concentrado
 ■ Liofilizado
 ▲ Secagem
 × Controle

As variações dos conteúdos de glicose, frutose e sacarose são apresentadas nos gráficos das Figuras 18-20, onde foram calculados a quantidade em gramas de cada açúcar contida em 100 gramas do extrato in natura, do extrato concentrado, do extrato liofilizado e do extrato seco a vácuo. Houve algumas oscilações, porém não houve grandes diferenças ao longo do tempo por isso não houve diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$).

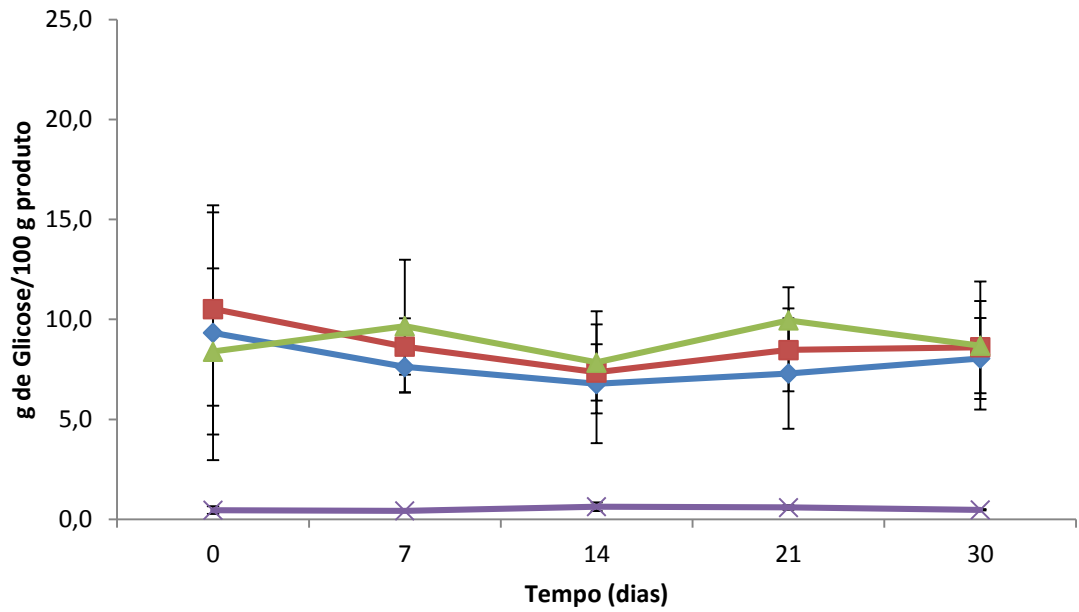


Figura 18 - Variação do conteúdo de glicose nos produtos com o tempo

Legenda:

◆ Concentrado
 ■ Liofilizado
 ▲ Secagem
 × Controle

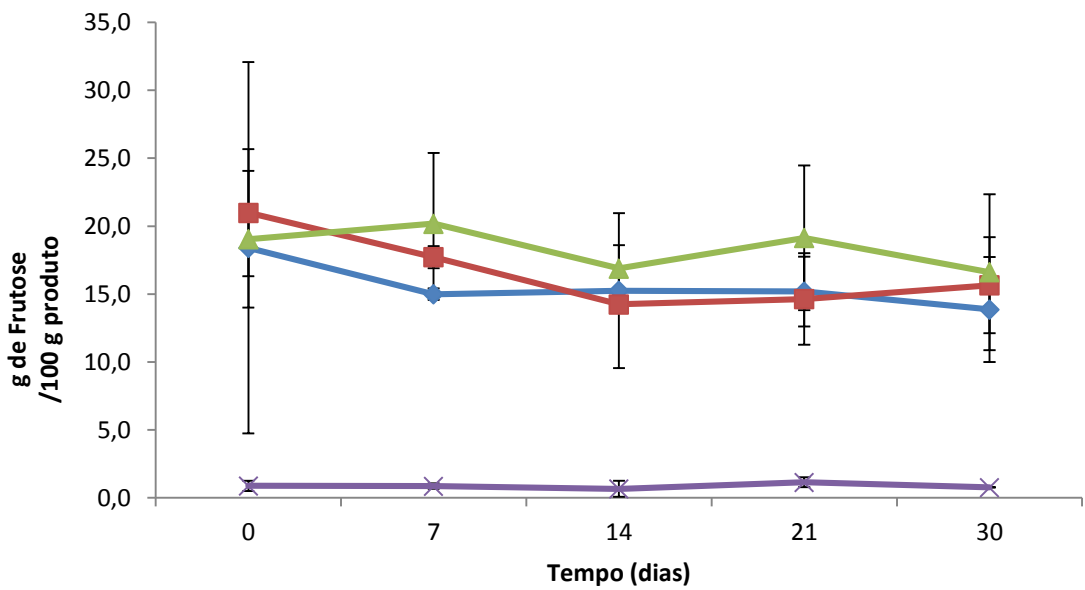


Figura 19 - Variação do conteúdo de frutose nos produtos ao longo do tempo

Legenda:

◆ Concentrado
 ■ Liofilizado
 ▲ Secagem
 × Controle

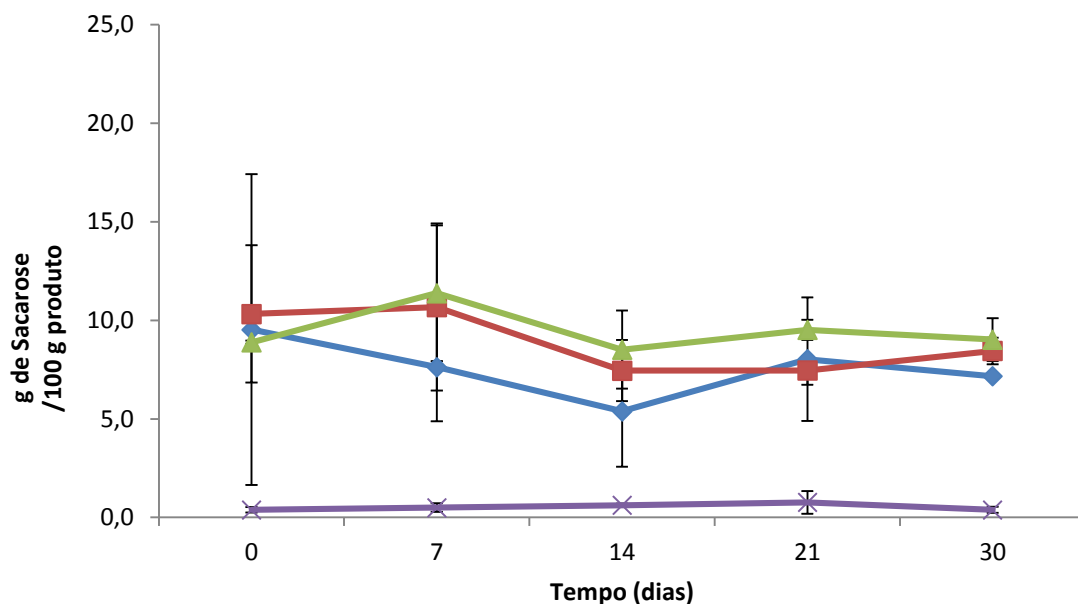


Figura 20 - Variação do conteúdo de sacarose nos produtos com o tempo

Legenda:

◆ Concentrado
 ■ Liofilizado
 ▲ Secagem
 × Controle

Como as operações não apresentaram diferenças significativas com relação a FOS deverá ser analisado a viabilidade de produção de cada um, e outras características, como composição, facilidade de armazenamento, transporte e conservação. A concentração seria a operação unitária mais viável pois esta foi realizada em um tempo de aproximadamente 3 horas, já a secagem a vácuo foi um processo mais dispendioso estendendo-se por 48 horas, assim como também a liofilização que se estendeu por 36 horas. A liofilização é um processo mais complicado devido à higroscopicidade do material e o rendimento dos produtos em pó foram baixos. A liofilização apresenta como desvantagens o fato de ser uma operação demorada, apresentar um elevado gasto energético e o custo e complexidade do equipamento (ALMEIDA & RIBEIRO, 2012). A concentração apresenta um gasto energético menor.

4. CONCLUSÃO

As operações aplicadas não causaram queda no conteúdo de FOS inicial do extrato. A concentração, secagem a vácuo e a liofilização foram eficientes no controle dos FOS que são termos sensíveis. Foram obtidos (i) o extrato concentrado 46,97% FOS (b.s.), (ii) o extrato em pó seco a vácuo 41,94% FOS (b.s.) (iii) o extrato em pó, liofilizado 39,5 % FOS (b.s.) (iv) extrato in natura 42,69% FOS (b.s.). Provavelmente houve hidrólise das cadeias com maior grau de polimerização na operação de concentração, pois esta apresentou maior conteúdo de FOS que o extrato in natura.

A retirada de água permitiu a obtenção de produtos com alto conteúdo de FOS em um volume reduzido e de maior conservação. Não houve efeito significativo do tempo e do tipo de operação aplicada sob o conteúdo dos carboidratos, FOS, frutose, sacarose e glicose. Outros fatores devem ser analisados como, por exemplo, rendimento e viabilidade econômica. O processo de concentração foi realizado em menor tempo e seu rendimento é melhor quando comparado ao rendimento do produto em pó. Sugere-se a realização de novos estudos, em tempos maiores de armazenamento. Pode ser feito um estudo de vida de prateleira dos produtos e a análise da estabilidade dos FOS e dos compostos fenólicos ao longo de um período maior de armazenamento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, P.F.F.; RIBEIRO, C. **Processo de liofilização de produtos alimentares perecíveis**. Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica para obtenção do título de Master Scientiae, p. 117. 2012.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of the AOC International**. 16 th ed. Gaithersburg: 1997.
- CAMPOS, D.; AGUILAR-GALVEZ, A.; PEDRESCHI, R. Stability of fructooligosaccharides, sugar and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v.51, n.5, p. 1177- 1185, 2016.
- GAVA, A.J.; SILVA, C.A.B.; FRIAS, J.R.G.F. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Nobel Franquias S.A, 513 p., 2008.
- GENTA, S. B.; CABRERA, W. M.; GRAU, A.; SANCHEZ, S. S. Subchronic 4-month oral toxicity study of dried *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots as a diet supplement in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v.43, n.11, p. 1657-1665, 2005.
- GONÇALVES, P.V.M. **Desenvolvimento de massa alimentícia funcional a base de extrato em pó e farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) e farinha de arroz por processo de extrusão termoplástica**. Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos. 2010.
- LOBO, A. R.; COLLI, C.; ALVARES, E. P.; FILISETT, T.M. C. C. Effects of fructans-containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. **British Journal of Nutrition**, v. 97, p. 776–785, 2007.
- LOPES, F. J. ; MELLO, R. E.; ALVES, G. E.; MENDONÇA, K. S.; SILVA, K.C.R.; CORRÊA, J. L. G. **Ajuste de modelos semiteóricos para predição de cinética de secagem de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. Congresso Brasileiro de sistemas particulados. Anais... São Carlos. São Paulo: 2015.

- MENDES, A. C. G. Dados ainda não publicados do Laboratório de Operações e Processos – LOP. Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA). Universidade Federal de Viçosa (UFV).
- PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D. , NORATTO, G.; CHIRINOS, R.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Alean Yacon Root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp.Endl) Fructooligosaccharides as a Potential Novel Source of Prebiotics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n.18, p. 5278-5284, 2003.
- RODRIGUES F. C.; CASTRO, A. S. B.; MARTINO, H. S. D.; FERREIRA , C. L. L. F. Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 3, p. 3-8, 2011.
- SCHEID, M. M. A.; GENARO, P. S.; MORENO, M. F.; PASTORE G. M. Freeze-dried powdered yacon: effects of FOS on serum glucose, lipids and intestinal transit in the elderly. **European Journal of Nutrition**, v. 53, p. 1457–1464, 2014.
- 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 na Technology**, v.44, n.11,p.2169-2175, 2009.
- VASCONCELOS, C. M.; SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J. Q.; CHAVES, J. B.P.; MARTINO, H. S. D . Determinação da fração da fibra alimentar solúvel da raiz e farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) pelo método enzimático-gravimétrico e cromatografia líquida de alta eficiência. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 188-193, 2010.
- VASCONCELOS, C. M; SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J.Q.; CHAVES, J. B.P.; MARTINO, H. S. D.. **Estratégias para preservação da qualidade de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) minimamente processado e separação de suas fibras**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de pós- graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos para obtenção do título de Doctor Scientiae, p. 123. 2014.

CONCLUSÃO GERAL

Houve variação dos valores de pH dos extratos ao longo do tempo de armazenamento. Com isso por meio de análises microbiológicas pode-se observar que extratos com valor de pH inicial elevado sofreram fermentação por bactérias lácticas. Os extratos com pH mais elevados, cisteína e controle, sofreram maior ação das bactérias e apresentaram quantidades de açúcares residuais. A ação das bactérias sob os carboidratos causou uma redução da glicose e sacarose, e a conversão de frutose em manitol. Os extratos com valores de pH iniciais menores, ácidos cítrico e tartárico, apresentaram menor índice de escurecimento e maior tonalidade. Todos os extratos apresentaram tonalidade próxima de 90°, por serem de coloração amarela. Os extratos controle para os dois tipos de preparo apresentaram valores de luminosidade menores e maior índice de escurecimento, pois neles houve escurecimento enzimático e os mesmos ficaram pretos. Para o conteúdo de carboidratos houve um maior valor médio da proporção de FOS nos extratos preparados por branqueamento bem como menor média dos outros açúcares. Isto sugere maior hidrólise de FOS no preparo por imersão, com consequente aumento de frutose. O extrato produzido por branqueamento com ácido tartárico foi o escolhido para ser submetido às operações da segunda etapa. Foram obtidos (i) o extrato concentrado 46,97% FOS (b.s.), (ii) o extrato em pó seco a vácuo 41,94% (b.s.) FOS (iii) o extrato em pó, liofilizado 39,5 % FOS (b.s.) (iv) extrato in natura 42,69% FOS (b.s.). Provavelmente houve hidrólise das cadeias com maior grau de polimerização na operação de concentração, pois esta apresentou maior conteúdo de FOS maior que o extrato in natura.

Ao longo de um estudo de 30 dias de armazenamento não houve efeito significativo do tempo e do tipo de operação aplicada sob o conteúdo dos carboidratos, FOS, frutose, sacarose e glicose. Sendo assim, novas pesquisas devem ser realizadas. Alguns estudos sugeridos seriam: (i) Estudo da viabilidade econômica (ii) Linha de produção em larga escala (iii) Viabilidade de aplicação em algum produto (iv) Estudo de vida de prateleira (v) Análise sensorial (vi) Estabilidade do FOS em maior tempo.

MATERIAL COMPLEMENTAR

Tabela 1 - Resumo da ANOVA para valores de pH dos extratos aquosos de yacon.

Fonte de Variação	GL	QM	p(F)
Agente	4	2,8350	< 0,0001*
Preparo	1	8,7557	< 0,0001*
Agente*Preparo	4	0,9609	0,0015*
Resíduo (a)	10	0,0945	
Tempo	4	6,9280	< 0,0001*
Agente*Tempo	16	0,6327	< 0,0001*
Preparo*Tempo	4	0,3219	0,0001*
Agente*Preparo*Tempo	16	0,0630	0,1475 ^{ns}
Resíduo (b)	40	0,0420	

*significativo à 5% de probabilidade; ns não significativo à 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Resumo da ANOVA para o desmembramento da interação Agente x Preparo da variável pH nos extratos aquosos de yacon.

Variável	Preparos	GL	QM	Prob > F
pH	Branqueamento	4	0,2667	0,0836 ^{ns}
	Imersão	4	3,5292	<0,0001*

* significativo à 5% de probabilidade

Tabela 3 - Resumo da ANOVA para o desdobramento da interação Preparo x Tempo nos extratos aquosos de yacon para pH.

Preparos	GL	QM	p(F)
Branqueamento	4	4,7763	<0,0001*
Imersão	4	2,4737	<0,0001*

*significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo à 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Resumo da ANOVA para o desdobramento da interação Agente x Tempo ($p \leq 0,05$) nos extratos aquosos de yacon para pH

Agentes	GL	QM	p (F)
Ascórbico	4	0,7115	<0,0001*
Cisteína	4	4,3339	<0,0001*
Cítrico	4	0,3925	<0,0001*
Controle	4	3,6107	<0,0001*
Tartárico	4	0,4101	<0,0001*

* significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo à 5% de probabilidade

Tabela 5 - Resumo da ANOVA para as coordenadas de cor L, h, IE e C para os extratos aquosos de yacon.

Variáveis	Fonte de Variação	GL	QM	p(F)
L	Agente	4	1188,7256	<0,0001*
	Preparo	1	0,2724	0,9241 ^{ns}
	Agente*Preparo	4	56,2329	0,1755 ^{ns}
	Resíduo (a)	10	28,5596	
	Tempo	4	16,5498	0,0023*
	Agente*Tempo	16	4,1578	0,2714 ^{ns}
	Preparo*Tempo	4	5,3373	0,1899 ^{ns}
	Agente*Preparo*Tempo	16	2,6096	0,6889 ^{ns}
	Resíduo (b)	40	3,3098	
H	Agente	4	2360,2293	<0,0001*
	Preparo	1	52,9355	0,3608 ^{ns}
	Agente*Preparo	4	585,0351	0,0015*
	Resíduo (a)	10	57,7054	
	Tempo	4	91,5794	0,0030*
	Agente*Tempo	16	85,6528	<0,0001*
	Preparo*Tempo	4	4,4477	0,9189 ^{ns}
	Agente*Preparo*Tempo	16	11,6351	0,8598 ^{ns}
	Resíduo (b)	40	19,1924	
IE	Agente	4	1230,0446	0,0025*
	Preparo	1	550,1139	0,0736 ^{ns}
	Agente*Preparo	4	595,4860	0,0275*
	Resíduo (a)	10	57,7054	
	Tempo	4	103,5680	0,0014*
	Agente*Tempo	16	87,7051	<0,0001*
	Preparo*Tempo	4	8,6874	0,7688 ^{ns}
	Agente*Preparo*Tempo	16	7,6265	0,9750 ^{ns}
	Resíduo (b)	40	19,1924	
C	Agente	4	49,0607	0,0828 ^{ns}
	Preparo	1	134,7556	0,0192*
	Agente*Preparo	4	50,2297	0,0784 ^{ns}
	Resíduo (a)	10	17,3248	
	Tempo	4	14,5029	<0,0001*
	Agente*Tempo	16	8,4355	<0,0001*
	Preparo*Tempo	4	0,6823	0,8205 ^{ns}
	Agente*Preparo*Tempo	16	1,8019	0,4689 ^{ns}
	Resíduo (b)	40	1,7883	

* significativo à 5% de probabilidade

Tabela 6- Resumo da ANOVA para o desmembramento da interação Agente x Preparo da variável h e IE nos extratos aquosos de yacon.

Variável	Preparos	GL	QM	Prob > F
h	Branqueamento	4	378,2322	0,0074*
	Imersão	4	2567,0322	<0,0001*
IE	Branqueamento	4	147,2607	0,4213 ^{ns}
	Imersão	4	1678,2699	0,0007*

* significativo à 5% de probabilidade

Tabela 7- Resumo da ANOVA para o desmembramento da interação Agente x Tempo ($p \leq 0,05$) nos extratos aquosos de yacon para h, IE, C

Variável	Agentes	GL	QM	p (F)
H	Ascórbico	4	0,2052	0,9998 ^{ns}
	Cisteína	4	7,6380	0,8089 ^{ns}
	Cítrico	4	2,0094	0,9802 ^{ns}
	Controle	4	421,3810	< 0,0001*
	Tartárico	4	2,9572	0,9600 ^{ns}
IE	Ascórbico	4	1,7593	0,9845 ^{ns}
	Cisteína	4	73,3411	0,0099*
	Cítrico	4	2,3156	0,9742 ^{ns}
	Controle	4	373,3849	< 0,0001*
	Tartárico	4	3,5876	0,9435 ^{ns}
C	Ascórbico	4	0,3081	0,9513 ^{ns}
	Cisteína	4	27,4603	< 0,0001*
	Cítrico	4	0,3136	0,9498 ^{ns}
	Controle	4	19,4113	< 0,0001*
	Tartárico	4	0,7515	0,7939

* significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo à 5% de probabilidade.

Tabela 8- Resumo da ANOVA para conteúdo de FOS, Glicose, Frutose e Sacarose dos extratos aquosos de yacon.

Variáveis	Fonte de Variação	GL	QM	p(F)
FOS	Agente	4	0,1469	0,5472 ^{ns}
	Preparo	1	1,1489	0,0307*
	Agente*Preparo	4	0,1091	0,6707 ^{ns}
	Resíduo (a)	10	0,1816	
	Tempo	4	0,5514	0,0054*
	Agente*Tempo	16	0,0562	0,9516 ^{ns}
	Preparo*Tempo	4	0,1245	0,4171 ^{ns}
	Agente*Preparo*Tempo	16	0,0502	0,9705 ^{ns}
	Resíduo (b)	40	0,1234	
Glicose	Agente	4	0,3906	0,0505 ^{ns}
	Preparo	1	1,6448	0,0034*
	Agente*Preparo	4	0,1359	0,3671 ^{ns}
	Resíduo (a)	10	0,1127	
	Tempo	4	0,3493	0,0002*
	Agente*Tempo	16	0,0686	0,2059 ^{ns}
	Preparo*Tempo	4	0,1621	0,0216*
	Agente*Preparo*Tempo	16	0,0359	0,7594 ^{ns}
	Resíduo (b)	40	0,0500	
Frutose	Agente	4	0,3480	0,4218 ^{ns}
	Preparo	1	2,2103	0,0263*
	Agente*Preparo	4	0,1983	0,6659 ^{ns}
	Resíduo (a)	10	0,3260	
	Tempo	4	0,1177	0,3040 ^{ns}
	Agente*Tempo	16	0,1034	0,3860 ^{ns}
	Preparo*Tempo	4	0,1758	0,1342 ^{ns}
	Agente*Preparo*Tempo	16	0,0724	0,7062 ^{ns}
	Resíduo (b)	40	0,0939	
Sacarose	Agente	4	1,6510	0,0023*
	Preparo	1	2,5811	0,0036*
	Agente*Preparo	4	0,1377	0,5735 ^{ns}
	Resíduo (a)	10	0,1808	
	Tempo	4	0,4299	<0,0001*
	Agente*Tempo	16	0,1449	0,0052*
	Preparo*Tempo	4	0,1878	0,0148*
	Agente*Preparo*Tempo	16	0,0472	0,5870 ^{ns}
	Resíduo (b)	40	0,0532	

Tabela 9 - Resumo da ANOVA para o desmembramento da interação Agente x Tempo ($p \leq 0,05$) nos extratos aquosos de yacon para Sacarose.

Variável	Agentes	GL	QM	p (F)
Sacarose	Ascórbico	4	0,1260	0,0690 ^{ns}
	Cisteína	4	0,2558	0,0020*
	Cítrico	4	0,1725	0,0216*
	Controle	4	0,6314	0,0003*
	Tartárico	4	0,0873	0,1834 ^{ns}

* significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo à 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Resumo da ANOVA para o desdobramento da interação Preparo x Tempo ($p \leq 0,05$) nos extratos aquosos de yacon para Glicose e Sacarose.

Variável	Preparos	GL	QM	p(F)
Glicose	Branqueamento	4	0,4697	<0,0001*
	Imersão	4	0,0416	0,5130 ^{ns}
Sacarose	Branqueamento	4	0,5232	<0,0011*
	Imersão	4	0,0945	0,1530 ^{ns}

* significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo à 5% de probabilidade.

Tabela 11 - Resumo da ANOVA para conteúdo de FOS, Glicose, Frutose e Sacarose dos produtos a base de yacon.

Variáveis	Fonte de Variação	GL	QM	p(F)
FOS	Operação	3	0,2075	0,9684 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	2,6490	
	Tempo	4	0,0347	0,8473 ^{ns}
	Operação*Tempo	12	0,1304	0,3195 ^{ns}
	Resíduo (b)	16	0,1023	
Glicose	Operação	3	0,0615	0,2341 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	0,0283	
	Tempo	4	0,0026	0,9051 ^{ns}
	Operação*Tempo	12	0,0093	0,5649 ^{ns}
	Resíduo (b)	16	0,010	
Frutose	Operação	3	0,1074	0,2461 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	0,0517	
	Tempo	4	0,0569	0,4641 ^{ns}
	Operação*Tempo	12	0,0225	0,9549 ^{ns}
	Resíduo (b)	16	0,0603	
Sacarose	Operação	3	0,0460	0,7181 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	0,0976	
	Tempo	4	0,0179	0,7725 ^{ns}
	Operação*Tempo	12	0,0209	0,8685 ^{ns}
	Resíduo (b)	16	0,0399	

* significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo à 5% de probabilidade.