

CHRISTIANE MILEIB VASCONCELOS

**ESTRATÉGIAS PARA PRESERVAÇÃO DA QUALIDADE DE YACON
(*Samolanthus 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.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

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

T

V331e
2014 Vasconcelos, Christiane Mileib, 1983-
Estratégias para preservação da qualidade de yacon (*Samallanthus sonchifolius*) minimamente processado e separação de suas fibras / Christiane Mileib Vasconcelos. – Viçosa, MG, 2014.
ix, 114f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: José Benício Paes Chaves.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Raiz de yacon. 2. Raiz de yacon - Qualidade. 3. Raiz de yacon - Fibras. 4. Raiz de yacon - Escurecimento enzimático. 5. Fenóis - Conservação. 6. Fibras - Separação. 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. 664

CHRISTIANE MILEIB VASCONCELOS

**ESTRATÉGIAS PARA PRESERVAÇÃO DA QUALIDADE DE YACON
(*Samallanthus 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.

APROVADA: 14 de agosto de 2014.

Frederico Augusto Ribeiro de Barros

Flávia Della Lucia

Jane Sélia dos Reis Coimbra

Eduardo Basílio de Oliveira
(Coorientador)

José Benício Paes Chaves
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À DEUS por ser meu guia, meu amigo e confidente, por sempre me fazer persistir e acreditar que sou capaz de alcançar meus objetivos, por mais tortuoso que o caminho possa ser.

Aos meus pais, que por mais que talvez não entendessem minha vontade de continuar estudando e o que é obter títulos dentro de uma Universidade, sempre me apoiaram, brindaram com minhas conquistas e acreditaram no meu sucesso. De vocês tenho, além do amor, a maior herança que alguém pode receber: o estudo!

Aos meus irmãos - Thiago, Marah e Thales - pelo carinho, amizade, admiração, companherismo e por serem parte da minha vida. Essa conquista também é mérito de vocês, meus amores!

Ao Professor José Benício Paes Chaves por todo aprendizado e pelas oportunidades que me concedeu. Durante todos os anos que trabalhamos juntos, pude perceber que quando se faz o que ama, não existe vontade de parar, mas sempre de recomeçar, seja com projetos novos, pesquisas diferentes ou a criação de um Instituto dentro da Universidade. Aprendi que os sonhos nos movem e por isso, é bom que sejam grandes, pois eles são possíveis de acontecer. Trabalhando com o senhor, aprendi muito além do que uma pesquisa de doutorado poderia me oferecer, e como aprendi! Se hoje sou merecedora de elogios, devo ao senhor e se estou finalizando esta etapa cheia de entusiasmo e muita vontade de trabalhar, também lhe devo isso.

À Professora Hércia Stampini Duarte Martino que sempre foi uma grande fonte de admiração para mim, atuando com profunda dedicação, competência ética e profissional, e muita simplicidade. Meu sentimento de gratidão por você é gigante, espero um dia retribuir um pouco do que fez por mim e mais, espero um dia ser um pouquinho como você!

Ao Professor Eduardo Basílio de Oliveira por acreditar em mim até quando nem eu acreditava; pela maravilhosa amizade, acrescida de boas risadas e um astral delicioso; pelos ensinamentos e por ter se tornado um anjo da guarda para mim, sempre me amparando e me animando. Também quero ser um pouquinho como você!

À Professora Jane Sélia dos Reis Coimbra por todo aprendizado além da minha formação acadêmica e, principalmente, pelo carisma, gentileza e simplicidade de ser, características que a fez se tornar ainda mais admirável para mim.

À Professora Rita de Cássia Superbi de Sousa pela valiosa ajuda, pela prontidão e pela amizade que espero que prospere.

Ao Professor Rolf Puschmann que abriu as portas do seu laboratório para que eu pudesse realizar grande parte do meu experimento. Pelo exemplo de simplicidade e cordialidade que muito me acrescentaram.

Ao Professor Paulo César Stringheta pelas valiosas sugestões e por toda colaboração que muito acrescentou ao meu doutorado.

Aos professores Frederico Barros e Flávia Della Lucia que dispuseram a participar da minha defesa e acrescentar meu aprendizado.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial aos Departamentos de Tecnologia de Alimentos e de Nutrição e Saúde, por me permitir chegar ao final desta etapa infinitamente melhor do que quando comecei.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de doutorado e pelo recurso financeiro utilizado na execução do projeto.

Às minhas estagiárias - Stephania Nunes Rossi, Luma Furtado Arantes e Estelle Le Gendre – sem elas eu não teria conseguido realizar todo este trabalho, e sem elas, a realização dele não teria sido tão leve. Apesar de vários erros e muitas dificuldades, eu só tenho a agradecer pela paciência que tiveram comigo, por trabalhar finais de semana e feriados com muito bom humor e por muito agregarem ao meu aprendizado. Acho que não poderia ter tido estagiárias melhores!

A todos os julgadores que participaram das análises sensoriais que realizei, pela paciência e boas conversas entre uma e outra sessão.

Às minhas amigas de república, Marcela, Núbia e Flávia, com quem compartilhei muitos momentos de alegria e de boas risadas, que se tornaram minha família durante esses anos de Viçosa e estarão sempre em minhas lembranças.

Às grandes amizades que conquistei em Viçosa - Alessandra Eluan, Andressa Gaioni, Angélica Costa, Claudilene Abreu, Gislene Fernandes, Hellenn Cardoso, Hudsara Aparecida, Jackeline Brilhante, Kelem Silva, Marcelle Cruz, Nayara Benedito, Rita de Cássia Navarro, Alexandre Navarro e muitos outros - vocês sempre terão um lugar especial no meu coração e desejo que possamos saborear muitos bons momentos pela frente, pois com vocês fui mais feliz!

Aos meus demais familiares e amigos de longa data, companheiros indispensáveis da minha vida, que estiveram sempre presentes mesmo quando fisicamente ausentes, agregando boas lembranças na minha vida e torcendo sempre por mim.

Às secretárias e secretário do Departamento de Tecnologia de Alimentos: Geralda, Poliana, Lorena, Letícia, Carla e Marcos pela ajuda, esclarecimentos, risadas e

especialmente por me seder um espaço ao lado do telefone, onde eu passava boas horas do meu dia.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia de Alimentos, de Nutrição e Saúde e de Fisiologia Pós-Colheita – Thomás, Pi, Dimas, Nivaldo, Isabel e Geraldo agradeço por me auxiliarem sempre que precisei, “quebrando vários galhos” durante a execução deste trabalho.

Enfim, foram muitas pessoas que de alguma forma permitiram que eu chegasse até aqui e, por isso, contribuíram para a execução do que amo fazer, me permitindo ser ainda mais feliz. À todos vocês o meu MUITO OBRIGADA!

RESUMO

VASCONCELOS, Christiane Mileib, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Agosto de 2014. **Estratégias para preservação da qualidade de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) minimamente processado e separação de suas fibras.** Orientador: José Benício Paes Chaves. Coorientadores: Hércia Stampini Duarte Martino e Eduardo Basílio de Oliveira.

Recentemente, tem havido um grande aumento na disponibilidade de alimentos nutricionalmente funcionais, com potencial benefício à saúde. A raiz de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tem sido descrita como o alimento com maior conteúdo de fibra alimentar solúvel (FAS) na natureza. Uma das principais características desses carboidratos é a redução da glicemia pós-prandial e a estimulação do crescimento de bactérias não patogênicas por meio da fermentação. Além desses constituintes, estas raízes também são ricas em compostos fenólicos que possuem importante atividade antioxidante. Tendo em vista a elevada quantidade de componentes funcionais presentes no yacon e a grande aplicabilidade frente a separação das fibras alimentares, bem como a preservação dos fenólicos, o presente estudo teve como objetivos (i) avaliar diferentes estratégias para a manutenção da qualidade por meio do controle do escurecimento enzimático de yacon minimamente processado; (ii) avaliar o efeito da combinação de agentes antiescurecimento na qualidade do yacon minimamente processado; (iii) comparar métodos convencionais de separação e extração de frutooligossacarídeos e inulina de yacon com a aplicação de ultrassom; e (iv) avaliar o equilíbrio de adsorção de glicose, frutose e sacarose por resinas de troca catiônica para utilização na separação das fibras de yacon. Este estudo permitiu conhecer os agentes antiescurecimento mais eficazes na preservação dos compostos fenólicos e, conseqüentemente, no controle do escurecimento enzimático durante o armazenamento de yacon minimamente processado, sem afetar negativamente as características sensoriais da raiz. Além disso, verificou-se que a aplicação de ultrassom na extração das fibras solúveis (FOS e inulina) de yacon pode ser uma alternativa viável, mas ainda são necessários estudos que permitam uma condição ótima de extração sem hidrolisar ou mesmo destruir os componentes das fibras e, por último, foi possível estudar a adsorção dos carboidratos simples (glicose, frutose e sacarose) por meio de resinas contendo cálcio como grupo funcional, que viabilizará estudos futuros para recuperação desses componentes nesta raiz.

ABSTRACT

VASCONCELOS, Christiane Mileib, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2014. **Strategies for preservation of quality minimally processed yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and separation of their fibers.** Adviser: José Benício Paes Chaves. Co-advisers: Hércia Stampini Duarte Martino and Eduardo Basílio de Oliveira.

Recently, there has been a large increase in the availability of foods nutritionally functionals with potential health benefits. The yacon root (*Smallanthus sonchifolius*) has been described as the food with the highest content of soluble dietary fiber (SDF) in nature. One of the main characteristics of these carbohydrates is the reduction of postprandial glucose and stimulation of the growth of nonpathogenic bacteria by fermentation. Besides these constituents, these roots are also rich in phenolic compounds that have important antioxidant activity. Given the high amount of functional components present in yacon and the wide applicability of the separation of dietary fiber, as well as the preservation of phenolics, this study aimed (i) to evaluate different strategies for the maintenance of quality by control of the enzymatic browning in minimally processed yacon; (ii) to evaluate the effect of combination of antibrowning agents on the quality of minimally processed yacon; (iii) to compare conventional methods of separation and extraction of inulin and fructo-oligosaccharides from yacon with the application of ultrasound; and (iv) to evaluate the adsorption equilibrium of glucose, fructose and sucrose by resins of cation exchange of separation of yacon fiber. This study allowed to identify the most effective antibrowning agents in the preservation of phenolic compounds and, consequently, in the control of enzymatic browning during storage of minimally processed yacon, without affecting the sensory characteristics of the root. Furthermore, it was found that the application of ultrasound in the extraction of yacon soluble fiber (FOS and inulin) can be a viable alternative, but researches that allow optimal condition of extraction without hydrolyzing or even destroying components of the fibers are still necessary and, finally, it was possible to study the adsorption of simple carbohydrates (glucose, fructose and sucrose) via calcium-containing resins as functional group, which will enable future studies for recovery of these components in the roots.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL	01
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	05
CAPÍTULO 1 - Avaliação de diferentes estratégias para o controle do escurecimento enzimático de yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) minimamente processado.	07
RESUMO	07
1. INTRODUÇÃO	08
2. MATERIAIS E MÉTODOS	09
2.1. Determinação da concentração dos agentes antiescurecimento	09
2.2. Processamento mínimo do yacon.....	10
2.3. Delineamento experimental	12
2.4. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado	12
2.5. Características físico-químicas do yacon minimamente processado	14
2.5.1. Determinação de sólidos solúveis totais	14
2.5.2. Estimativa de fenólicos totais	14
2.5.3. Determinação do pH do yacon minimamente processado	15
2.5.4. Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado ...	15
2.5.4.1. Determinação da concentração de proteínas totais do yacon minimamente processado	16
2.5.5. Análise instrumental de cor do yacon minimamente processado	16
2.5.6. Determinação da variação de massa do yacon minimamente processado ...	17
2.5.7. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado.....	17
2.6. Análise estatística.....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado	19
3.2. Características físico-químicas do yacon minimamente processado	22
3.2.1. Sólidos solúveis totais do yacon minimamente processado.....	22
3.2.2. Estimativa de fenólicos totais do yacon minimamente processado	23
3.2.3. pH do yacon minimamente processado.....	24
3.2.4. Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado....	25
3.2.5. Coordenadas de cor do yacon minimamente processado.....	27
3.2.6. Variação de massa do yacon minimamente processado	29
3.2.7. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado	30

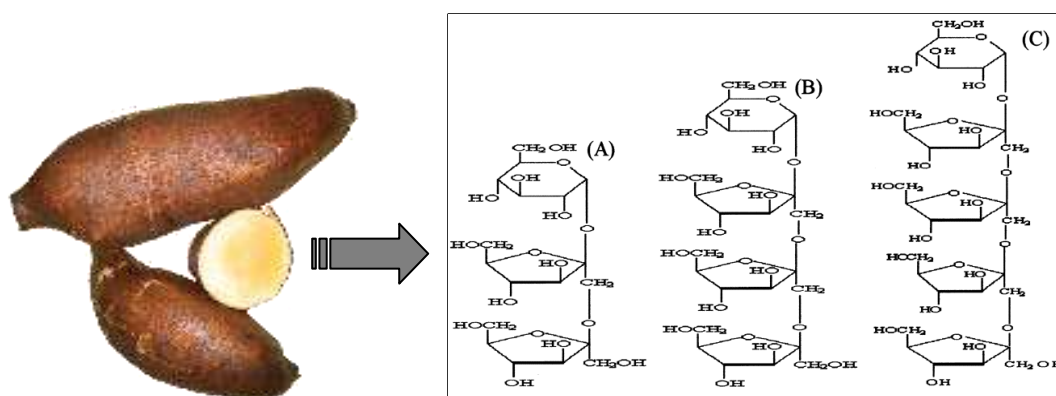
3.3. Correlação entre as medidas físico-químicas	32
4. CONCLUSÃO	32
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
CAPÍTULO 2 - Efeito antiescurecimento da combinação de ácidos ascórbico, cítrico e tartárico na qualidade de yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) minimamente processado.	39
RESUMO	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAIS E MÉTODOS	41
2.1. Processamento mínimo do yacon.....	41
2.2. Delineamento experimental	43
2.3. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado	44
2.4. Características físico-químicas do yacon minimamente processado	46
2.4.1. Determinação de fenólicos totais do yacon minimamente processado	46
2.4.2. Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado ...	46
2.4.2.1. Determinação da concentração de proteínas totais do yacon minimamente processado	47
2.4.3. Análise instrumental de cor do yacon minimamente processado	48
2.4.4. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado	48
2.5. Análise estatística.....	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado	49
3.2. Características físico-químicas do yacon minimamente processado	55
3.2.1. Determinação de fenólicos totais do yacon minimamente processado	55
3.2.2. Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado....	57
3.2.3. Coordenadas de cor do yacon minimamente processado.....	58
3.2.4. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado	59
4. CONCLUSÃO	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
CAPÍTULO 3 - Comparação entre métodos convencionais de separação e extração dos frutanos de yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) com a aplicação de ultrassom.	66
RESUMO	66
1. INTRODUÇÃO	67
2. MATERIAIS E MÉTODOS	68
2.1. Preparo das raízes de yacon	68

2.2. Métodos de separação dos frutanos do yacon	69
2.2.1. Separação dos frutanos do yacon por aquecimento/congelamento.....	69
2.2.2. Separação dos frutanos do yacon por adição de agente precipitante	70
2.2.3. Separação dos frutanos do yacon após sonicação	70
2.3. Métodos de extração dos frutanos do yacon	71
2.4. Determinação de açúcares redutores das frações de yacon.....	71
2.5. Quantificação dos carboidratos solúveis totais de yacon.....	72
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
3.1. Métodos de separação dos frutanos do yacon	72
3.1.1. Método de separação a quente	72
3.1.2. Método de separação após sonicação.....	74
3.2. Método de extração dos frutanos do yacon.....	76
4. CONCLUSÕES	78
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
CAPÍTULO 4 - Equilíbrio de adsorção de glicose, frutose e sacarose por resinas de troca catiônica.....	83
RESUMO	83
1. INTRODUÇÃO	84
2. MATERIAIS E MÉTODOS	85
2.1. Materiais.....	85
2.2. Cinética de adsorção	87
2.3. Isotermas de equilíbrio de adsorção	87
2.4. Seletividade das resinas.....	88
2.5. Análise dos dados.....	88
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
3.1. Cinéticas de adsorção.....	89
3.2. Isotermas de equilíbrio de adsorção.....	90
3.3. Seletividade	94
3.4. Comparação e contraste	95
4. CONCLUSÕES	97
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
CONCLUSÃO GERAL.....	101
ANEXOS	103

INTRODUÇÃO GERAL

Em anos recentes, tem havido um grande aumento na disponibilidade de alimentos nutricionalmente funcionais, com potencial benefício à saúde. Concomitante a esta mudança, o interesse em alimentos com elevados teores de fibras também tem aumentado, tornando-se um objeto de investigação renovada. A importância desse constituinte alimentar tem levado ao desenvolvimento de um grande mercado de produtos ricos em fibras, como snacks, bolos, barra de cereais, geléias e iogurtes. Este teor mais elevado de fibras pode ser útil para garantir que a população consuma as quantidades adequadas deste componente (Baixauli et al., 2008; Rolim et al., 2010; Salvador et al., 2012; Dantas et al., 2012; Vasconcelos; Minim; Chaves, 2012).

Um alimento que tem ganhado grande importância nesse contexto é a raiz de yacon (*Smallanthus sonchifolius*), uma raiz tuberosa proveniente da região andina na América do Sul e que foi considerada pelos habitantes desta região, durante anos, como “frutos”. Esta percepção é particularmente forte em razão de sua suculência e gosto doce (Grau; Rea, 1997) e à sensação refrescante ao ser consumida. Tal característica se deve ao fato de o yacon armazenar principalmente frutooligossacarídeos (FOS) (Figura 1), um tipo especial de açúcar com atributos enormemente benéficos para a saúde humana, diferindo então da maioria dos tubérculos e raízes que armazenam seus carboidratos principalmente na forma de amido (Seminario; Valderrama; Manrique, 2003).



A – trissacarídeo que consiste de 1 molécula de glicose e 2 moléculas de frutose (GF2);

B – tetrassacarídeo que consiste de 1 molécula de glicose e 3 moléculas de frutose (GF3);

C – pentassacarídeo que consiste de 1 molécula de glicose e 4 moléculas de frutose (GF4);

Fonte: Lachman et al., 2004.

Figura 1. Yacon e estrutura química de três principais frutooligossacarídeos (GF2, GF3 e GF4) presente na raiz.

Além do elevado teor de fibra alimentar solúvel (FAS constituído pelos FOS e inulina) presente nas raízes de yacon, estas raízes também são ricas em fibra alimentar insolúvel (FAI) (Castro et al., 2013). As propriedades físico-químicas das frações das fibras alimentares produzem diferentes efeitos fisiológicos no organismo. As FAS e, especialmente os frutanos, são resistentes às enzimas hidrolíticas da saliva e do aparelho digestivo humano e, por isso, quando consumidas, chegam ao cólon sem alterações significativas em sua estrutura. No cólon, elas reduzem a velocidade de absorção dos açúcares e são fermentadas pela microbiota intestinal com produção dos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) como o acetato, propionato e butirato, além de ácido láctico, dióxido de carbono e hidrogênio (Roberfroid, 2007). Os AGCC produzidos provocam a redução do pH no cólon, impedindo com isso, a proliferação de bactérias putrefativas e nocivas no intestino grosso, prevenindo a inibição de estágios iniciais de câncer de cólon. Também têm sido associados ao metabolismo de lipídios e à melhor assimilação de cálcio (Seminario; Valderrama; Manrique, 2003). O alto conteúdo de água e FAS das raízes também desempenha um papel importante, pois além de contribuir na saciedade da fome e aumenta a frequência e massa fecal, podendo ajudar a corrigir a constipação intestinal (Manrique; Hermann, 2004).

As FAI reduzem o tempo de trânsito no intestino grosso tornando a eliminação fecal mais fácil e rápida, e ainda contribuem para o aumento da saciedade (Jenkins et al., 1978; Samra, Anderson, 2007). Portanto, de forma geral, as fibras alimentares regularizam o funcionamento intestinal, o que as torna relevantes para o bem-estar de pessoas saudáveis e coadjuvantes no tratamento dietético de várias patologias.

Outro constituinte em evidência nas raízes de yacon são os compostos fenólicos que possuem importante atividade antioxidante (Simonovska et al., 2003; Valentová; Ulrichová, 2003). Essas raízes apresentam em sua composição uma quantidade considerável de compostos fenólicos (2030 mg/kg), com predomínio de ácido clorogênico (éster de ácido caféico e ácido quínico), ácido ferúlico e derivados do ácido caféico, além de quercetina e outros dois flavonóides (Yan et al., 1999; Takenaka et al., 2003; Simonovska et. al., 2003; Valentová et. al., 2003, 2005). Como antioxidantes naturais, estes compostos têm uma importância cada vez maior para a saúde humana, protegendo as membranas celulares contra danos provocados pelos radicais oxigênio e suas consequências nas doenças cardiovasculares e câncer (Neves; Silva, 2007).

Entretanto, a quantidade de compostos fenólicos pode ser drasticamente reduzida pela presença de enzimas oxidativas, presente em elevadas quantidades no yacon, sendo esta, uma enzima que catalisa a oxidação de compostos fenólicos a quinonas, e que por

sua vez, se polimerizam formando compostos de coloração escura, denominados melanoidinas (Valentová e Ulrichová, 2003).

Esse escurecimento, nomeadamente escurecimento enzimático ou oxidativo, observado nas raízes pode ser considerado intenso, e se inicia imediatamente após o descascamento. Tal fenômeno se deve principalmente à ruptura das células e estruturas celulares que contém enzimas e seus substratos, os compostos fenólicos, colocando-os em contato no meio aquoso, favorecendo assim a reação de escurecimento (Kamimura, 2006). No entanto, estas reações oxidativas que levam ao escurecimento, podem ser desaceleradas, ou até inibidas, adotando alguns métodos de controle, dentre eles, a eliminação do oxigênio superficial do vegetal. Contudo, proteger o mesmo para que não haja contato com O₂ ao longo da cadeia produtiva nem sempre é possível, assim ocorre o escurecimento tão logo o oxigênio é incorporado. Uma alternativa que tem sido usada para reduzir este escurecimento enzimático é a adição de agentes químicos capazes de inibir diretamente a ação catalítica das enzimas envolvidas ou agir sobre os intermediários da formação dos compostos responsáveis pela coloração escura (Araújo, 2008). Essa atuação pode ocorrer de diversas formas, como por meio do abaixamento do pH; quelando o metal presente no sítio ativo da PPO; estabilizando os radicais livres formados pela ação do oxigênio; interagindo com intermediários formados durante a reação, evitando assim a continuação do escurecimento; dentre outros (Marshall, 2000; Chaves et al., 2004; Araújo, 2008; Endo, 2008).

Tendo em vista a elevada quantidade de componentes funcionais presentes no yacon e a grande aplicabilidade frente a separação das fibras alimentares, bem como a preservação dos fenólicos e manutenção da qualidade do yacon minimamente processado, o presente estudo teve como objetivos (i) avaliar diferentes estratégias para o controle do escurecimento enzimático de yacon minimamente processado; (ii) avaliar o efeito antiescurecimento na qualidade do yacon minimamente processado, por meio da combinação dos agentes antiescurecimento testados anteriormente e que forneceram melhores resultados; (iii) comparar métodos convencionais de separação e extração de frutooligossacarídeos e inulina de yacon com a aplicação de ultrassom; e (iv) avaliar o equilíbrio de adsorção de glicose, frutose e sacarose por resinas de troca catiônica.

Com os objetivos i e ii pretendeu-se preservar os compostos fenólicos do yacon, evitando a oxidação que ocorre após o processamento da raiz e, assim, garantir a manutenção da cor por um período mais prolongado. Com o objetivo iii tentou-se definir um método ideal para separação e extração das fibras solúveis do yacon, permitindo sua utilização como ingredientes alimentares e, com o objetivo iv almejou-se

estudar as resinas de adsorção para serem utilizadas, em outro momento, na recuperação dos carboidratos simples (glicose, frutose e sacarose) presente na raiz, a fim de também poder utilizá-los como ingredientes alimentares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J.M.A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. 4^a. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.

BAIXAULI, R.; SALVADOR, A.; HOUGH, G.; FISZMAN, S.M. How information about fibre (traditional and resistant starch) influences consumer acceptance of muffins. **Food Quality and Preference**. v. 19, p. 628–635, 2008.

CASTRO, A.; CÉSPEDES, G.; CARBALLO, S.; BERGENSTÅHL, B.; TORNBERG, E. Dietary fiber, fructooligosaccharides, and physicochemical properties of homogenized aqueous suspensions of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food Research International**. v. 50, p. 392–400, 2013.

CHAVES, M.C.V.; GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C.; LEITE, J.C.A.; SILVA, F.L.H. Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 4, n. 2, 2004.

DANTAS, M.I.S.; VASCONCELOS, C.M.; PINTO, C.A.; MINIM, V.P.R.; MARTINO, H.S.D. Concentrado proteico do soro e yacon agregam valor nutricional e sensorial em iogurte diet. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. v. 71, n. 1, p. 127-33, 2012.

ENDO, E. et al. Uso de filmes ativos na conservação da batata minimamente processada. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 19, n. 02, p. 349-360, 2008.

GRAU, A; REA, J. Yacon. *Smallanthus sonchifolius* (Poep. & Endl.) H. Robinson. In: HERMANN, M.; HELLER, J. (Eds.). **Andean roots and tubers: ahupa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. (Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research). Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy, p.199-242, 1997.

JENKINS, D.J.; WOLEVER, T.M.; LEEDS, A.R.; GASSULL, M.A.; HAISMAN, P.; DILAWARI, J.; GOFF, D.V.; METZ, G.L.; ALBERTI, K.G. Dietary fibres, fibre analogues, and glucose tolerance: importance of viscosity. **British Medical Journal**. v. 1, p. 1392-1394, 1978.

KAMIMURA, G.K.F. **Isolamento, Purificação e Caracterização da Peroxidase de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos. Faculdade de Ciências Farmacêutica, Universidade Estadual Paulista, Araraquara. 2006. 114p.

LACHMAN, J.; HAVRLAND, B.; FERNÁNDEZ, E.C.; DUDJAK, J. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. **Plant Soil Environment**. v. 50, n. 9, p. 383–390, 2004.

MANRIQUE, I.; HERMANN, M. **Yacon - Fact Sheet**. Lima, Peru: International Potato Center (CIP), 2004. Disponível em: www.cipotato.org/artc/cipcrops/factsheetyacon.pdf. Acesso em: 22 de janeiro de 2014.

MARSHALL, M.R.; KIM, J.; WEI, C.I. Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods. **Food Science and Human Nutrition**, 2000.

NEVES, V.A.; SILVA, M.A. Polyphenol Oxidase from Yacon Roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 55, p. 2424-2430, 2007.

ROBERFROID, M. Prebiotics: The Concept Revisited. **The Journal of Nutrition**. v. 137, p. 830S–837S, 2007.

ROLIM, P.M.; SALGADO, S.M.; PADILHA, V.M.; LIVERA, A.V.S.; GUERRA, N.B.; ANDRADE, S.A.C. **Revista Ceres**, v. 57, n.1, p. 12-17, 2010.

SALVADOR, A.C.; DANTAS, M.I.S; VASCONCELOS, C.M.; VANETTI, M.C.D.; RIBEIRO, S.M.R.; NERY-ENES, B.; NELSON, J.D.; MARTINO, H.S.D. Desarrollo de jalea de yacón de reducido valor calórico: Caracterización físico-química, microbiológica y sensorial. **Revista Chilena de Nutrición**. v. 39, n. 3, p. 72-77, 2012

SAMRA, R.A.; ANDERSON, G.H. Insoluble cereal fiber reduces appetite and short-term food intake and glycemic response to food consumed 75 min later by healthy men. **American Journal of Clinical Nutrition**. v. 86, p. 972–979, 2007.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Peru, 2003, 60p.

SIMONOVSKA, B.; VOVK, I.; ANDRENESEK, S.; VALENTOVA, K.; ULRICHOVA, J. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. **Journal of Chromatography A**, Czech Republic, v.1016, n.1, p.89-98, 2003.

TAKENAKA, M.; YAN, X.; ONO, H.; YOSHIDA, H.; NAGATA, T.; NAKANISHI, T. Caffeic acid derivatives in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 51, p. 793-796, 2003.

VALENTOVÁ, K.; ULRICHOVÁ, J. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* – prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. **Biomedical Papers**, Czech Republic, v.147, n.2, p.119-130, 2003.

VALENTOVA, K.; SERSEN, F.; ULRICHOVÁ, J. Radical scavenging and anti-lipoperoxidative activities of *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p. 5577- 5582, 2005.

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 em raiz e farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) pelo método enzimático-gravimétrico e cromatografia líquida de alta eficiência. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.2, 2010.

YAN, X.; SUZUKI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; SADA, Y.; NAKANISHI, T.; NAGATA, T. Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 47, p. 4711-4713, 1999.

CAPÍTULO 1

AValiação DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DO ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*) MINIMAMENTE PROCESSADO

RESUMO

Os compostos fenólicos do yacon, quando em contato com enzimas oxidativas durante o processamento mínimo, ocasionam alguns inconvenientes tecnológicos; um deles é o escurecimento enzimático. Estas reações podem ser desaceleradas com utilização de agentes antiescurecimento e/ou atmosfera modificada. Assim, o efeito de diferentes agentes combinados ou não à atmosfera modificada, sobre a inibição do escurecimento enzimático de yacon minimamente processado foi avaliado. Fatias de yacon foram imersas em soluções de: metabissulfito de sódio (0,5%) e L-cisteína (0,5%) e dos ácidos láctico (1%), málico (1%), succínico (1%), etilenodiaminotetracético (EDTA – 1%), ascórbico (3%), cítrico (3%) ou tartárico (3%), e um controle (0,5 % de açúcar); por 5 minutos. Após isso, foram embaladas com ou sem N₂ e armazenadas a 5 °C. Análises sensorial (descritiva) e físico-químicas (sólidos solúveis, fenólicos totais, pH, atividade da peroxidase, cor, variação de massa e perfil de textura) foram realizadas periodicamente. A análise sensorial realizada imediatamente após o processamento indicou que os tratamentos com EDTA e ácido láctico mantiveram as características peculiares da raiz. Entretanto, estes ácidos e os tratamentos com málico e succínico, além do controle, não foram capazes de inibir o escurecimento, permitindo um armazenamento máximo de 5 dias, independente da atmosfera modificada. O yacon tratado com cisteína e metabissulfito de sódio apresentou atributos sensoriais desagradáveis, contudo, verificou-se a manutenção da cor por 17 dias. Resultados similares foram observados com os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico, porém, esses foram mais efetivos na inibição das reações enzimáticas, independente da atmosfera. Além disso, apresentaram atributos sensoriais intermediários em relação ao controle, exceto o ácido tartárico, que caracterizou-se pelo gosto ácido, adstringência e aroma ácido. Desta forma, para controlar o escurecimento enzimático de yacon minimamente processado sem alterar negativamente seus atributos sensoriais típicos, revelaram-se mais adequados os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico, independente da atmosfera no interior da embalagem.

1. INTRODUÇÃO

O yacon, *Smallanthus sonchifolius*, planta originária dos Andes, produz raízes tuberosas suculentas ricas em frutanos (frutooligosacarídeos e inulina), polímeros de frutose sintetizados a partir da sacarose, que ocorrem como principal carboidrato de reserva (Hendry; Wallace, 1993). Além dos frutanos, que recebem grande destaque em virtude dos benefícios que promovem à saúde, a raiz também é rica em compostos fenólicos. Esses possuem atividade antioxidante atuando como complexantes de cátions metálicos catalisadores de reações de oxidação deletérias para sistemas celulares e contribuindo na modulação da atividade de vários sistemas enzimáticos. São, pois, elementos da dieta que favorecem a saúde ante fatores químicos e físicos estressantes para o organismo, auxiliando na prevenção do câncer, aterosclerose, doenças cardiovasculares, envelhecimento e outros (Gutiérrez Maydata, 2002; Simonovska et al., 2003; Valentová; Ulrichová, 2003; Ribeiro, 2008).

Os compostos fenólicos presentes no yacon, apesar de suas importantes funções biológicas, podem ocasionar alguns inconvenientes do ponto de vista tecnológico. Um deles é o escurecimento oxidativo ou enzimático, catalisado por enzimas do grupo das oxidoredutases, como as polifenoloxidasas (PPO). Dentre elas, as peroxidases (POD) têm sido encontradas em concentrações mais expressivas na polpa da raiz de yacon (Ribeiro, 2008; Padilha et al., 2009).

Os substratos fenólicos envolvidos na reação de escurecimento estão localizados nos vacúolos, enquanto as enzimas estão no citoplasma, membrana e organelas de vegetais. As reações podem ocorrer apenas quando ambos entram em contato e na presença de oxigênio. Assim, todos os fenômenos como corte, choque e perda de firmeza levam ao início das reações de escurecimento enzimático que induzem perdas ou alterações de sabor, odor e valor nutricional (Silva et al., 2007; Souza, Durigan, 2007; Toivonen, Brummell, 2008). As PPOs podem catalisar duas reações: uma hidroxilação de monofenóis a difenóis, que é relativamente lenta e resulta em produtos incolores; e a oxidação de difenóis em quinonas, que é mais rápida (Queiroz et al., 2008). Estas quinonas podem então reagir não-enzimaticamente entre si e com aminoácidos, peptídeos e proteínas, tornando o produto visualmente menos atrativo, devido à formação de pigmentos escuros (Neves, Silva, 2007; Menolli et al., 2008). A POD catalisa a oxirredução nos vegetais utilizando tanto o peróxido de hidrogênio como o oxigênio como aceptores de hidrogênio (Chitarra, Chitarra; 2005), formando também quinonas e, conseqüentemente, pigmentos escuros.

As reações de escurecimento enzimático podem ser desaceleradas, ou mesmo inibidas, adotando-se alguns métodos de controle, como a redução do oxigênio disponível para o vegetal. Entretanto, a proteção contra o contato com o O₂ ao longo de toda a cadeia produtiva nem sempre é possível, ocorrendo escurecimento tão logo o oxigênio seja incorporado. Outra alternativa utilizada para prevenir o escurecimento enzimático é a adição de agentes capazes de inibir diretamente a ação catalítica das enzimas envolvidas ou agir sobre compostos intermediários da formação dos produtos responsáveis pela coloração escura (Araújo, 2011). Esta atuação pode ocorrer de diversas formas, como por meio do abaixamento do pH; complexando o mineral presente no sítio ativo da enzima oxidativa; estabilizando os radicais livres formados pela ação do oxigênio; interagindo com intermediários formados durante a reação; dentre outros, evitando assim a continuação do escurecimento (Marshall et al, 2000; Chaves et al., 2004; Araújo, 2011; Endo, 2008).

Evidências do envolvimento das peroxidases e sua importância em reações de escurecimento enzimático em vegetais têm sido apresentadas por diversos autores (Valderrama et al., 2001; Avallone et al., 2003; Zhou et al., 2003; Melo, Vilas Boas, 2006; Toivonen, Brummell, 2008; Ioannou, Ghoul, 2013), assim como sua associação com o surgimento de caracteres sensoriais indesejáveis, principalmente em produtos alimentícios como os minimamente processados (Costa et al., 2011; López-López et al., 2013). No entanto, apesar da grande importância da inibição das enzimas oxirredutases como alternativa de controle dessas alterações indesejáveis, seja na utilização do yacon in natura ou na formulação de novos produtos que o utilizem como ingrediente; ao nosso conhecimento, há escassos estudos publicados versando sobre a eficiência de estratégias antiescurecimento desta raiz (Kamimura, 2006; Padilha et al., 2009; Reis et al., 2011, Rodrigues et al., 2013).

Diante disto, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes agentes antiescurecimento, atuando em combinação ou não com a modificação da atmosfera da embalagem, sobre a inibição do escurecimento enzimático de yacon minimamente processado durante o armazenamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Determinação da concentração dos agentes antiescurecimento

Os agentes antiescurecimento e suas concentrações - ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido tartárico, ácido lático, ácido málico, ácido succínico, ácido

etilenodiaminotetracético (EDTA), metabissulfito de sódio e L-cisteína, todos provenientes da Sigma Aldrich® – foram inicialmente determinados por meio de um levantamento bibliográfico realizado para verificar o que já havia sido utilizado, no tratamento de yacon minimamente processado. Desta forma, de acordo com os trabalhos de Michels (2005), Marangoni (2007), Oliveira (2010) e Reis et al. (2011) selecionou-se as concentrações de 0,5; 1; 2 e 3 % (g/100 g de yacon) de cada agente antiescurecimento para serem testadas.

Um pré-teste foi realizado com fatias de yacon imersas por 5 minutos em soluções contendo as concentrações pré-definidas (de 0,5 a 3 %) e posteriormente, drenadas em bandejas perfuradas. Alterações de cor destas fatias, mantidas à temperatura ambiente e em presença de oxigênio, foram observadas durante 48 horas.

Com base nos resultados desse pré-teste, definiram-se as concentrações de cada agente antiescurecimento a serem utilizadas no experimento subsequente (Tabela 1). Em todos os experimentos, o tratamento controle foi preparado com solução aquosa a 0,5 % de sacarose para manter uma osmolaridade (27,7 mOsm) próxima às soluções com os agentes antiescurecimento sem, no entanto, causar interferências na reação de oxidação dos fenóis catalisada pelas enzimas.

Tabela 1. Concentração (% m/m) de cada agente antiescurecimento utilizado no tratamento do yacon minimamente processado.

Agente antiescurecimento	Concentração (% m/m)	INS	Agente antiescurecimento	Concentração (% m/m)	INS
Ácido ascórbico	3	300	Ácido succínico	1	363
Ácido cítrico	3	330	EDTA	1	385
Ácido tartárico	3	334	L-cisteína	0,5	--
Ácido láctico	1	270	Metabissulfito de sódio	0,5	223
Ácido málico	1	296	Controle (açúcar)	0,5	--

m/m: massa, em gramas, do agente antiescurecimento a ser utilizado em relação ao peso de yacon.

2.2. Processamento mínimo do yacon

As raízes de yacon utilizadas como matéria-prima, aproximadamente 100 kg, provenientes do Ceasaminas (Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S.A.) Grande Belo Horizonte - MG, em maio de 2012. As embalagens de polietileno impermeáveis a gases, obtidas no comércio local.

Para processamento das raízes de yacon foram realizadas as etapas aplicadas em alimentos minimamente processados, segundo a EMBRAPA (2003) com algumas adaptações. Inicialmente as raízes foram selecionadas manual e visualmente para retirada daquelas que se apresentavam impróprias para o consumo e, depois, lavadas em

água corrente a temperatura ambiente ($20 \pm 0,5$ °C). Na sequência foi realizado o descascamento e corte manuais das raízes em fatias cilíndricas de aproximadamente 1,5 cm de espessura, com facas inoxidáveis. As fatias foram então imersas em solução de dicloro-s-triazinatriona sódica dihidratada (Sumaveg, Suma[®]) a 200 mg/L por 15 minutos, removidas e drenadas em bandejas perfuradas. Em seguida, foi feito o mesmo procedimento imergindo as fatias em solução de enxágue contendo 3 mg/L de Sumaveg por 5 minutos. Aproximadamente 50 fatias de yacon foram pesadas para cálculo da quantidade de cada agente antiescurecimento a ser utilizado, na concentração já definida. As fatias pesadas foram imersas em solução com o agente por 5 minutos, removidas e drenadas por 2 minutos.

Para o acondicionamento das fatias em embalagens de polietileno impermeáveis a gases, cada tratamento com os agentes antiescurecimento foi embalado com e sem nitrogênio ($P = 6,80$ atm) em equipamento próprio (Selovac[®]) e, posteriormente, armazenado a $5,5 \pm 0,3$ °C em expositor refrigerado. Todas as etapas de imersão foram realizadas em banho de gelo ($3 \pm 0,4$ °C).

A sequência simplificada do processamento das raízes de yacon pode ser visualizada na Figura 1.



Figura 1. Processamento do yacon *in natura*.

2.3. Delineamento experimental

As fatias de yacon minimamente processadas foram avaliadas sensorial e físico-quimicamente.

A análise sensorial descritiva foi realizada no tempo 0, ou seja, logo após o processamento do yacon. Para a avaliação das amostras foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com três repetições (Cochran; Cox, 1981), sendo os blocos representados pelos julgadores, e 10 tratamentos (agentes antiescurecimento).

Para as determinações físico-químicas considerou-se o delineamento inteiramente casualizado seguindo um modelo de parcelas subdivididas, no qual os agentes antiescurecimento (10 tratamentos) e a presença ou não de nitrogênio na embalagem (Gás), em um arranjo fatorial, localizam-se nas parcelas, e o tempo de armazenamento, nas subparcelas, sem repetição. Estas determinações foram realizadas logo após o processamento (tempo 0) e aos 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 e 17 dias de armazenamento.

2.4. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado

A análise sensorial descritiva foi realizada usando o Método Espectro descrito por Vasconcelos et al. (2012) com algumas modificações. Todas as etapas foram feitas no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal de Viçosa – UFV, cujas instalações incluem cabines individuais com controle de iluminação.

Foram recrutados, sem seleção prévia, visto que os candidatos já haviam participado de estudos com análise sensorial descritiva, inclusive com produtos contendo yacon, 13 julgadores estudantes da UFV. No início do treinamento, foi solicitado aos julgadores que descrevessem individualmente as similaridades e as diferenças entre amostras de yacon minimamente processado tratado com os ácidos ascórbico, cítrico, EDTA, málico, láctico, succínico e tartárico, metabissulfito de sódio e L-cisteína, além do controle. Para isto, foram servidas 3 amostras aleatórias de cada tratamento por vez, junto com uma folha em branco e um copo de água. Em seguida, realizaram-se sessões de discussão aberta para definir os atributos sensoriais que caracterizavam todas as amostras de yacon minimamente processado que seriam estudadas.

Os materiais de referência também foram definidos durante as sessões de discussão e algumas referências foram adotadas conforme o Método Espectro Sensorial de Meilgaard, Civille e Carr (1999).

Os termos descritivos e as referências utilizadas pela equipe sensorial estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Linguagem sensorial utilizada na avaliação descritiva de yacon minimamente processado.

Termos	Definição	Referência
Cor	Tonalidade da cor amarela variando de amarelo claro ao amarelo escuro	0 cm = suco Tang [®] limão 4 %; 7,5 cm = suco Tang [®] abacaxi 4 %; 15 cm = suco Tang [®] laranja 4 %.
Brilho	Intensidade do brilho na superfície da amostra	0 cm = yacon fresco seco em papel; 15 cm = yacon fresco após 30 min imerso em água.
Gosto doce	Gosto estimulado por açúcares como sacarose, frutose e glicose	Solução de sacarose: 2 cm = 2 %; 5 cm = 5 %; 10 cm = 10 %.
Gosto ácido	Gosto estimulado por ácidos, tais como ácido cítrico e ácido málico e outros	Solução de ácido láctico: 2 cm = 0,05 %; 5 cm = 0,08 %; 15 cm = 0,15 %.
Gosto amargo	Gosto estimulado por substâncias tais como a cafeína	Solução de quinina: 7,5 cm = 0,0004 %; 15 cm = 0,0008 %.
Adstringência	Substância que produz a sensação de “amarrar a boca”	5 cm = 2 sachê de boldo/200 mL de água fervida; 15 cm = 0,33 % suco de uva Bela Ischia [®] .
Sabor de yacon	Sabor característico de yacon	15 cm = yacon fresco.
Sabor sulfurado	Sabor associado à presença de compostos sulfurados na amostra	Solução de L-cisteína: 7,5 cm = 0,005 %; 15 cm = 0,01 %.
Aroma de yacon	Aroma característico de yacon	15 cm = yacon fresco.
Aroma adocicado	Aroma característico da presença de açúcares	0 cm = água; 15 cm = solução saturada de sacarose.
Aroma ácido	Aroma característico da presença de ácidos	0 cm = água; 15 cm = 2 % suco de limão Tang [®] .
Umidade aparente	Força e som ao qual a amostra rompe	3 cm = cenoura; 7,5 cm = maçã.

Durante o treinamento, testes utilizando a ficha de avaliação desenvolvida e fatias de yacon minimamente processados, sendo uma tratada com ácido cítrico e outra sem tratamento (controle), foram realizados para exercitar a memória sensorial, permitir que eventuais dúvidas pudessem ser esclarecidas e possibilitar um treinamento mais focado nos atributos que cada julgador apresentou mais dificuldade em perceber e avaliar. Após aproximadamente três semanas de treinamento, realizou-se um novo teste utilizando fatias de yacon tratadas com ácido ascórbico e com metabissulfito de sódio, as quais foram apresentadas em três sessões. Foram avaliados os atributos de características mais discrepantes entre as amostras analisadas: cor, gostos doce e ácido, sabor de yacon e

sulfurado, aromas de yacon, adocicado e ácido. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com duas fontes de variação (amostra e repetição) para os dados de cada julgador, em cada termo descritivo avaliado. Aqueles que apresentaram bom poder discriminatório ($pF_{\text{amostra}} \leq 0,50$) e repetibilidade de resultados ($pF_{\text{repetição}} \geq 0,05$) em todos termos descritivos avaliados, segundo metodologia proposta por Damásio e Costell (1991), foram considerados aptos para a avaliação final das amostras, enquanto que aqueles não aptos, continuaram o treinamento.

A avaliação final do yacon minimamente processado ocorreu somente no tempo 0, ou seja, imediatamente após processadas. Cada julgador recebeu as amostras em pratos descartáveis codificados com números de três dígitos aleatórios. A forma de apresentação também foi aleatória, sendo que em cada sessão o julgador avaliava no máximo 3 amostras. Os julgadores receberam, juntamente às amostras, um copo de água à temperatura ambiente (19 °C) e a ficha de avaliação com os termos descritivos e escala não estruturada de 15 cm.

Esse projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Viçosa e encontra-se sob o número 452.899.

2.5. Análises físico-químicas do yacon minimamente processado

2.5.1. Determinação de sólidos solúveis totais

A determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST) foi realizada diretamente em refratômetro de bancada, modelo Digital Refractometer RTD-45 (Instrutherm), à temperatura ambiente (19 ± 2 °C), sendo os resultados expressos em °Brix, de acordo com o método 932.12 da AOAC (2000).

A amostra analítica foi obtida a partir de 10 g de yacon minimamente processado triturado em processador, modelo Ultra Turrax IKA T18 basic (18.000 rotações/min). A leitura foi realizada em alíquota de 1 mL desse fluido.

2.5.2. Estimativa de fenólicos totais

Para a quantificação dos fenólicos totais, os extratos contendo os compostos fenólicos foram obtidos conforme descrito por Bloor (2001) com algumas adaptações. A análise para quantificá-los foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Singleton et al. (1999).

Para obtenção do extrato, 1 grama da polpa da raiz minimamente processada foi homogeneizado em processador, modelo Ultra Turrax IKA T18 basic (18000 rotações/min), com 10 mL de solução de metanol:água (60:40 v/v). A mistura foi

centrifugada (7.000 g, por 10 minutos). O sobrenadante foi transferido para tubos de ensaio e o volume completado com água destilada até obter a concentração de 0,0666 g de polpa/mL. Retirou-se 1 mL desse extrato e acrescentou 1 mL de solução de Folin-Ciocalteu (diluído 5 vezes em água) e 1 mL de solução de carbonato de sódio a 7,5 % em água (m/v) e deixou-se reagir por 30 minutos, em temperatura ambiente (19 ± 2 °C). A absorvância em 765 nm foi lida em espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS (Kyoto, Japão).

A curva analítica de ácido gálico, em seis concentrações variando de 0 a 500 mg/L, foi elaborada para expressar os resultados em miligramas de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 1 grama de yacon.

2.5.3. Determinação do pH do yacon minimamente processado

A determinação do pH foi realizada de acordo com o método 981.12 da AOAC (2000), utilizando um pHmetro digital (marca Digimed pHmetro DM20).

A amostra analítica foi obtida como no item 2.5.1 e a leitura foi realizada diretamente nesse fluido.

2.5.4. Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado

A determinação da atividade de peroxidase (POD) foi efetuada de acordo com o método de Kar e Misha (1976), com algumas adaptações.

Para obtenção do extrato bruto para quantificação da peroxidase, 1 g de yacon minimamente processado foi acrescentado de 10 mL de tampão fosfato de potássio (0,1 M; pH 6,8) adicionado de 0,1 mM de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), 1 mM de fluoreto de fenilmetilsulfônico (PMSF) e 1 % de polivinilpirrolidona (PVPP - p/v). Em seguida, foi efetuada a homogeneização em processador, modelo Ultra Turrax IKA T18 basic (18000 rotações/min) e filtração em 4 camadas de gaze. O filtrado foi então centrifugado a 12.000 g durante 15 minutos a 4 °C. Após a centrifugação, o sobrenadante foi retirado e reservado. Todo o processo de obtenção do extrato foi realizado em banho de gelo.

Para a leitura da absorvância foram adicionados 2,9 mL de tampão fosfato de potássio (25 mM; pH 6,8) acrescido de 20 mM de guaiacol e 20 mM de peróxido de hidrogênio) e 100 µL do sobrenadante em uma cubeta de vidro colocada em espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS (Kyoto, Japão) durante 2 minutos a 420 nm.

O cálculo da atividade enzimática (AE) da peroxidase foi realizado utilizando-se a equação 1:

$$EA = \frac{\Delta A}{\epsilon} \times \frac{V}{m_{\text{prot}}} \times D$$

Equação 1

Em que ΔA é a absorvância média obtida após 2 minutos de leitura; $\epsilon = 26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ e representa o coeficiente de extinção molar de tetraguaiacol, um produto de oxidação do guaiacol (Verma; Dubey, 2003); V é a quantidade do meio de reação para a leitura da absorvância = 3 mL; m_{prot} = massa de proteína contida na amostra; D = fator de diluição.

2.5.4.1. Determinação da concentração de proteínas totais do yacon minimamente processado

As quantificações das proteínas totais nos extratos foram realizadas empregando-se a metodologia descrita por Bradford (1976). Para a obtenção da curva analítica, 0,1 mL das soluções padrões de proteína, em cinco concentrações variando de 20 a 100 $\mu\text{g/mL}$ de albumina de soro bovino (BSA), foram adicionadas a 1,0 mL da solução do reagente Azul Brilhante de Coomassie. Após 10 min de reação, a absorvância do complexo formado era medida espectrofotometricamente em 595 nm. Construída a curva analítica, adicionou-se 0,1 mL do extrato bruto à solução do reagente; a absorvância do complexo formado foi medida também em 565 nm depois de 20 min de reação, para determinação da concentração de proteína no extrato, por meio da curva analítica.

2.5.5. Análise instrumental de cor do yacon minimamente processado

As coordenadas de cor foram determinadas por meio do colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta) segundo o sistema CIE-Lab, utilizando-se do espaço de cor ($L^*a^*b^*$). As coordenadas têm os seguintes significados: L^* , medida da luminosidade de um material e varia de zero (preto/escuro) até 100 (branco/claro); a^* representa a variação da intensidade entre o vermelho e verde ($-a^*$ =verde e $+a^*$ =vermelho) e b^* é a variação da intensidade do amarelo ao azul ($-b^*$ =azul e $+b^*$ =amarelo).

As determinações foram realizadas diretamente na fatia de yacon em pontos aleatórios, com duas leituras para cada fatia.

A partir dos valores encontrados para as coordenadas de cor $L^*a^*b^*$ foram calculados o índice de escurecimento (IE), Cromo (C^*) e o ângulo hue (h^*), usando as equações 2, 3 e 4, respectivamente (Pathare; Opara; Al-Said, 2012).

$$IE = \frac{[100(x-0,31)]}{0,172}, \text{ sendo } x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,645L^* + a^* - 3,012b^*)} \quad \text{Equação 2}$$

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad \text{Equação 3}$$

$$h^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Equação 4}$$

De acordo com os valores obtidos de a^* e b^* , a fórmula para o cálculo do ângulo h^* pode ser modificada da seguinte forma (Fante et al., 2013):

- Valores de a^* e $b^* > 0$: $h^* = \tan^{-1} (b^*/a^*)$;
- Valores de $a^* < 0$ e $b^* > 0$: $h^* = 180^\circ + \tan^{-1} (b^*/a^*)$;
- Valores de a^* e $b^* < 0$: $h^* = 270^\circ + \tan^{-1} (b^*/a^*)$;
- Valores de $a^* > 0$ e $b^* < 0$: $h^* = 360^\circ + \tan^{-1} (b^*/a^*)$.

2.5.6. Determinação da variação de massa do yacon minimamente processado

A variação de massa foi calculada pela diferença entre a massa inicial dos produtos minimamente processados dentro das embalagens e a obtida em cada intervalo de armazenamento. Os resultados foram expressos em porcentagem de variação de massa fresca em relação peso inicial do yacon.

2.5.7. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado

A análise de perfil de textura (TPA) foi conduzida em máquina universal de teste mecânico (Instron – Série 3367, Estados Unidos, 2005). As amostras foram colocadas centralmente sob uma sonda cilíndrica de alumínio (5 mm de diâmetro) que comprime a amostra a uma profundidade de 4 mm de um ciclo de compressão dupla (35 % da altura da amostra), a uma velocidade de 1 mm/s. Por meio da medição da carga (N) como uma função de tempo (s) foram analisados os atributos dureza (N), fraturabilidade (N), coesividade (adimensional), mastigabilidade (J), elasticidade (mm), adesividade (Ns) e gomosidade (N) pelo software Blue Hill 2.0 (Instron, Estados Unidos, 2005) a partir das curvas de força (N) x tempo (s) geradas durante o teste. As análises foram realizadas em 5 fatias de yacon (aproximadamente 1,5 cm de espessura x 3 cm de diâmetro) para cada tratamento de cada embalagem (com ou sem N_2), logo após o processamento e no último dia de armazenamento.

2.6. Análise estatística

Os dados da análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado foram analisados por meio da ANOVA com duas fontes de variação (agente antiescurecimento e julgador) e interação Agente*Julgador para cada atributo sensorial. Para as interações significativas ($p < 0,05$), foi verificada sua magnitude por meio de gráficos de intensidade dos atributos por Agente por Julgador e, os dados dos julgadores que demonstraram interação grave foram retirados da análise dos resultados para o respectivo atributo e a ANOVA foi recalculada. Os atributos sensoriais que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) tiveram os escores médios de cada yacon tratado com os agentes antiescurecimento comparados, usando o teste Duncan ao nível a 5 % de probabilidade.

Para as características físico-químicas foram testadas as interações Agente*Tempo e Gás*Tempo. Como o experimento foi realizado sem repetição, as interações Agente*Gás e Agente*Gás*Tempo foram consideradas os resíduos da parcela e da subparcela, respectivamente. As interações significativas ($p < 0,05$) foram desmembradas e para o efeito significativo ($p < 0,05$) do tempo, foram testados modelos de equação linear e quadrático em função do tempo de armazenamento para cada agente antiescurecimento e/ou tipo de gás na embalagem. As variáveis qualitativas – Agente e Gás – significativas ($p < 0,05$) tiveram as médias analisadas por meio do teste de Duncan a 5 % de probabilidade.

A atividade enzimática da peroxidase e o perfil de textura instrumental foram analisados somente no tempo 0 (após o processamento) e no último dia de armazenamento. Portanto, os resultados foram analisados por meio da ANOVA para verificar o efeito do agente antiescurecimento e tipo de gás presente na embalagem em relação à diferença entre o antes e depois de todas as análises. Foram avaliadas as fontes de variação Agente e Gás. Para efeito significativo ($p < 0,05$) em relação aos agentes antiescurecimento utilizados, os resultados foram submetidos ao teste de Duncan a 5 % de probabilidade, enquanto que, para efeito significativo quanto ao tipo de gás utilizado, a ANOVA é conclusiva, visto que são testados apenas 2 níveis.

Correlações com as medidas sensoriais e físico-químicas foram realizadas utilizando o coeficiente de correlação de Pearson (r). Para os atributos sensoriais, todos foram correlacionados entre si, enquanto que, para os resultados das análises físico-químicas, a correlação de Pearson foi realizada apenas para as medidas que apresentaram alguma variável qualitativa (Agente ou Gás) significativa ($p < 0,05$).

As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico SAS (Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., North Carolina, USA, 1989) versão 9.3 licenciado pela Universidade Federal de Viçosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado

A avaliação do yacon minimamente processado foi realizada por 8 julgadores. Dos doze atributos avaliados, dez deles - cor, brilho, gosto ácido, adstringência, sabor de yacon, sabor sulfurado, aroma de yacon, aroma adocicado, aroma ácido e umidade aparente - demonstraram efeito significativo ($p < 0,05$) para a interação agente*julgador. Segundo Stone e Sidel (2004) esta interação significativa indica que há diferenças no modo como os julgadores interpretam ou medem o atributo. Estes autores indicam dois tipos possíveis de interação que são de interesse particular em termos de desempenho da equipe e poder de discriminação entre as amostras avaliadas: (a) quando um julgador inverte a ordem de intensidade do atributo em relação aos demais julgadores e (b) quando há diferença na magnitude da intensidade percebida, sendo o segundo tipo considerado menos grave que o primeiro.

Os julgadores que ocasionaram a interação significativa ($p < 0,05$) nos atributos anteriormente descritos e o tipo de interação foram identificados por meio de gráficos dos escores médios de cada atributo por amostra por julgador. As interações significativas ocorreram em função do uso de diferentes partes das escalas pelos julgadores e, portanto, elas não foram consideradas graves, com exceção dos atributos sensoriais cor e aroma doce, que apresentaram escores muito discrepantes para alguns agentes antiescurecimento.

Estas interações graves, visualizadas por meio de gráficos de intensidade dos atributos por Agente por Julgador, permitiram identificar a discrepância dos escores de 1 julgador para o atributo sensorial cor em relação ao yacon tratado com ácido succínico; e também de 1 julgador, no entanto, para o yacon tratado com os ácidos tartárico e málico, para aroma adocicado. Assim, os escores destes julgadores foram retirados da análise desses atributos e a ANOVA foi recalculada, sendo encontrada interação agente*julgador não significativa para cor ($pF = 0,1044$) e aroma adocicado ($pF = 0,1410$).

A análise dos resultados indicou que, independente do agente antiescurecimento utilizado no tratamento do yacon minimamente processado, não houve variação

significativa dos escores para os atributos sensoriais brilho ($pF = 0,2673$), gosto amargo ($pF = 0,1882$) e umidade aparente ($pF = 0,6987$). Para os demais atributos, que variaram significativamente ($p < 0,05$), foi aplicado o Teste Duncan para comparação das médias (Tabela 3).

Tabela 3. Escores médios e desvios padrão conferidos aos atributos sensoriais para amostras de yacon minimamente processado tratadas com os diferentes agentes antiescurecimento.

Agente	Cor	GDoce	GAcido	Adstring	SYacon	AYacon	ADoce	AAcido
Controle	5,3±3,1 ^{abc}	2,7±2,8 ^{ab}	0,5±0,7 ^d	0,1±0,2 ^d	10,7±4,2 ^a	10,9±4,2 ^{abc}	3,7±3,4 ^{abc}	0,8±1,2 ^f
Ascórbico	3,3±3,0 ^{def}	1,2±1,0 ^d	2,7±2,3 ^b	0,7±0,9 ^b	8,1±4,9 ^{cd}	9,6±4,6 ^{de}	2,7±2,9 ^{cd}	2,4±2,6 ^b
Cisteína	5,8±3,3 ^{ab}	2,2±1,9 ^{bc}	1,6±2,5 ^c	0,2±0,3 ^d	8,2±5,7 ^{cd}	8,0±5,8 ^f	2,0±2,3 ^d	1,9±2,6 ^{bcd}
Cítrico	2,3±1,7 ^{fg}	1,4±1,8 ^d	3,4±2,7 ^b	1,2±1,8 ^a	8,9±4,7 ^{bc}	10,7±4,1 ^{abcd}	2,9±3,4 ^{bcd}	1,9±2,1 ^{bcd}
EDTA	4,0±2,5 ^{cde}	2,7±1,5 ^{ab}	1,6±1,6 ^c	0,3±0,4 ^{cd}	10,5±4,3 ^a	11,4±4,0 ^{ab}	4,3±3,1 ^a	1,6±2,1 ^{cde}
Lático	6,4±2,9 ^a	3,1±2,0 ^a	0,9±1,1 ^{cd}	0,2±0,4 ^{cd}	10,9±4,5 ^a	11,5±4,4 ^a	3,9±2,9 ^{ab}	1,2±1,6 ^{def}
Málico	2,9±2,6 ^{efg}	1,5±1,1 ^{cd}	2,8±2,2 ^b	0,7±1,0 ^b	7,8±5,1 ^{cd}	10,2±4,5 ^{bcd}	2,9±2,9 ^{bcd}	2,5±2,1 ^b
Metabissulfito	4,6±3,0 ^{bcd}	2,8±1,3 ^{ab}	1,1±1,8 ^{cd}	0,3±0,4 ^{cd}	9,3±4,6 ^b	8,6±4,9 ^{ef}	2,3±1,3 ^d	1,1±1,5 ^{ef}
Succínico	3,8±2,8 ^{cd}	1,1±1,0 ^d	2,8±2,7 ^b	0,6±0,8 ^{bc}	8,1±4,6 ^{cd}	9,8±3,8 ^{cde}	2,5±3,1 ^{cd}	2,0±2,4 ^{bc}
Tartárico	1,6±1,0 ^g	0,7±0,7 ^d	5,6±3,9 ^a	1,3±2,3 ^a	7,1±5,1 ^d	9,6±4,5 ^{de}	2,0±2,3 ^d	3,5±2,1 ^a

Letras diferentes na mesma coluna diferem entre si, a 5 % de probabilidade, pelo Teste Duncan.

GDoce = gosto doce; GAcido = gosto ácido; Adstring = adstringência; SYacon = sabor de yacon; AYacon = aroma de yacon; ADoce = aroma doce; AAcido = aroma ácido.

O atributo sensorial sabor sulfurado, não apresentado na Tabela 3, foi perceptivo apenas nas amostras tratadas com cisteína e metabissulfito de sódio, evidenciando escores médios iguais a $3,2 \pm 3,0$ e $1,0 \pm 1,2$, respectivamente. As fatias tratadas com esses agentes antiescurecimento também apresentaram os menores escores para aroma de yacon. Estas características sensoriais aludem uma limitação de suas aplicabilidades como agente antiescurecimento em minimamente processados. Outra limitação dos agentes antiescurecimento sulfurados, representado pelo metabissulfito de sódio, é que apesar de sua eficiência, seu uso é de senso controverso devido à sua implicação no aparecimento de algumas formas de asma, pela alegação de toxicidade quando utilizado em excesso e por seu resíduo ser causa de problemas ambientais (Carneiro et al., 2003; Araújo, 2011).

O yacon minimamente processado tratado com ácido tartárico se caracterizou por apresentar os maiores escores para gosto e aroma ácidos. Em relação à adstringência, o tratamento com ácido tartárico e cítrico provocaram maior percepção deste atributo pelos julgadores. Para as amostras tratadas com EDTA e ácido láctico, os escores médios para sabor de yacon foram muito próximos ao tratamento controle, sugerindo que esses ácidos são os que menos interferem no sabor característico da raiz.

Na Tabela 4 são apresentados os coeficientes de correlação entre os atributos sensoriais avaliados nas amostras de yacon minimamente processado.

Tabela 4. Coeficiente de correlação entre os escores médios dos atributos sensoriais de yacon minimamente processado avaliados na análise sensorial descritiva.

	Brilho	Gosto doce	Gosto ácido	Gosto amargo	Adstringência	Sabor de yacon
Cor	-0,9400*	0,7225*	-0,8415*	0,1308	-0,8818*	0,5977
Brilho		-0,5934	0,8033*	-0,1768	0,8366*	-0,4016
Gosto doce			-0,8924*	-0,2327	-0,8362*	0,8731*
Gosto ácido				0,1553	0,9384*	-0,7896*
Gosto amargo					-0,0727	-0,4937
Adstringência						-0,6584*

	Sabor Sulfurado	Aroma de yacon	Aroma Adocicado	Aroma ácido	Umidade aparente
Cor	0,3641	-0,0012	-0,0609	-0,7416*	0,0349
Brilho	-0,5031	0,2561	0,3205	0,6839*	-0,0984
Gosto doce	0,1597	0,2471	0,3026	-0,8735*	0,0259
Gosto ácido	-0,2046	-0,1498	-0,1490	0,9312*	-0,0974
Gosto amargo	0,6860*	-0,5302	-0,3290	0,3472	0,0682
Adstringência	-0,3348	-0,0089	-0,1061	0,7878*	0,0747
Sabor de yacon	-0,2302	0,6296	0,5154	-0,8655*	-0,0631
Sabor Sulfurado		-0,7823*	-0,6609*	-0,0541	0,2612
Aroma de yacon			0,8670	-0,2536	-0,0991
Aroma Adocicado				-0,1260	-0,0887
Aroma ácido					-0,0530

* significativo à 5 % de probabilidade

Observa-se a ocorrência de correlação positiva ($p < 0,05$) entre os atributos sensoriais cor e gosto doce; e negativa ($p < 0,05$) para cor com os atributos brilho, gosto ácido, adstringência e aroma ácido, confirmando que quanto maior o potencial ácido do agente antiescurecimento, maior é sua eficiência em controlar o escurecimento da raiz, contudo, isso reduz também o gosto doce e sabor de yacon característicos desta raiz.

Também correlacionaram positivamente ($p < 0,05$) os atributos sensoriais gosto ácido e adstringência; e gosto amargo com sabor sulfurado. O sabor sulfurado dos agentes antiescurecimento cisteína e metabissulfito de sódio é tão intenso que provoca inclusive alterações na percepção de aroma, o que pode ser observado pela correlação negativa com aroma de yacon e aroma adocicado.

3.2. Características físico-químicas do yacon minimamente processado

Durante o armazenamento, parte do yacon minimamente processado apresentou grande alteração visual de cor, sendo, portanto, considerado inconveniente continuar com as análises físico-químicas e, conseqüentemente, analisar os resultados junto aos demais. Assim, as avaliações do yacon minimamente processado sem tratamento (controle) e tratado com os agentes antiescurecimento EDTA e ácidos láctico, málico e succínico foram efetuadas até o 5º dia, enquanto os demais – tratados com cisteína, metabissulfito de sódio e ácidos ascórbico, cítrico e tartárico - até o 17º dia de armazenamento.

A ANOVA do teor de fenólicos dos tratamentos avaliados até o 5º dia apresentou alteração significativa em relação ao tempo ($pF = 0,0122$). Esta variação pode ser avaliada pela equação: Fenólicos = $6,6877 - 0,9438T$ ($pF = 0,0002$; $R^2 = 0,9897$), em que T representa o tempo, em dias. Esta equação indica que ao longo do tempo de armazenamento o yacon tratado com os agentes antiescurecimento EDTA e ácidos láctico, málico e succínico ou o não tratado (controle) sofre uma redução diretamente proporcional ao tempo. Assim estes agentes são realmente ineficientes no controle do escurecimento enzimático, visto que não impedem que ocorra a oxidação dos fenólicos.

Quanto à atividade enzimática da peroxidase, não houve diferença significativa ($pF_{\text{agente}} = 0,6628$; $pF_{\text{gás}} = 0,5008$) entre a atividade inicial e final para o yacon sem tratamento (média = 1,84; 0,88 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ PTN), ou tratado com EDTA (média = 0,68; 1,60 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ PTN), málico (média = 0,95; 0,40 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ PTN), ácido láctico (média = 0,87; 0,87 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ PTN) e succínico (média = 1,06; 0,77 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ PTN) nas embalagens sem ou com nitrogênio, respectivamente, confirmando a impotência destes agentes, nas concentrações avaliadas, em inibir a atividade destas enzimas e conseqüentemente, do escurecimento provocado.

3.2.1. Sólidos solúveis totais do yacon minimamente processado

A variação do teor de sólidos solúveis totais (SST) do yacon minimamente processado foi não significativa ($p > 0,05$) para os efeitos testados.

Era esperado que a concentração dos SST aumentasse com o tempo devido à despolimerização das cadeias de frutooligossacarídeos (FOS), isto é, os FOS são hidrolisados em açúcares simples para suprir a energia dos processos de respiração e transpiração (Carvalho et al., 2004; Manrique et al., 2005). Contudo, o processo de despolimerização dos FOS no yacon é acentuado logo após sua colheita (Graefe et al., 2004), e como o yacon utilizado nesse estudo não era recém-colhido, provavelmente as

maiores mudanças na composição química de açúcares já haviam ocorrido. Desta forma, pode-se inferir que não houve alteração significativa ($p > 0,05$) das variáveis analisadas em relação ao teor de SST devido à diminuição da despolimerização de FOS no período pós-colheita e também devido ao armazenamento sob baixas temperaturas que reduz o metabolismo da raiz, permitindo que essas mudanças ocorram mais lentamente.

3.2.2. Estimativa de fenólicos totais do yacon minimamente processado

A curva analítica elaborada para expressar os resultados em miligramas de Equivalentes de Ácido Gálico (EAG), permitiu o ajuste da equação linear $Abs = 3,2249F + 0,0303$ com $R^2 = 0,9985$, em que 'F' representa a quantidade de fenólicos totais presente em 1 g de amostra de yacon minimamente processado e 'Abs' refere-se à absorvância da solução na equação da curva de calibração do ácido gálico.

A partir dos dados obtidos com esta curva foi feita a ANOVA. A variação do teor de fenólicos foi significativa apenas em relação ao tempo de armazenamento ($pF < 0,0001$). Como não foi possível ajustar uma equação linear ou quadrática para verificar o teor de fenólicos em função do tempo, os valores médios e desvio padrão foram plotados em um gráfico (Figura 2).

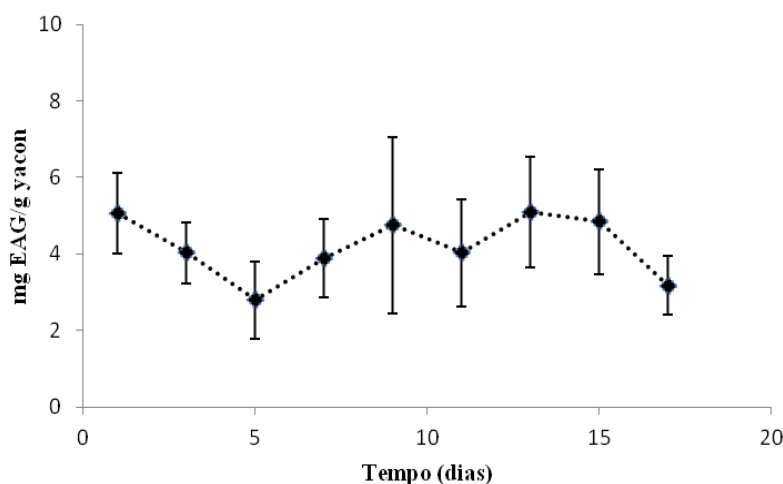


Figura 2. Variação média e desvio padrão do teor de fenólicos (mg EAG/g yacon) do yacon minimamente processado em função do tempo de armazenamento.

É possível observar que uma redução na quantidade de fenólicos até o 5º dia de armazenamento e após esse período, houve uma tendência de aumento destes teores, com conseqüente oscilação. Uma justificativa para esse comportamento oscilatório seria em relação às enzimas oxidativas que, além da forma ativa presente no citossol,

apresenta formas latentes, encontradas tanto no citossol quanto em plastídios, isoladas do restante da célula (Sellés-Marchart et al., 2006). Devido ao armazenamento refrigerado, as enzimas encontradas na forma latente e os plastídios ainda íntegros podem sofrer modificações ao longo do tempo, levando a ocorrência destas oscilações na oxidação dos fenólicos. Além disso, o estresse causado ao yacon fatiado, em razão do armazenamento refrigerado, também pode ter ativado o metabolismo secundário das células, que é uma das rotas formadoras de compostos fenólicos (Ding et al., 2001). Entretanto, todas estas alterações são mais acentuadas no período imediatamente após a colheita.

O teor de fenólicos encontrado neste estudo foi bastante elevado (média = 4,2 ± 1,48 mg EAG/g yacon), isto provavelmente porque os resultados foram superestimados pela presença de interferentes. O método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu é o mais comumente utilizado, entretanto, não é um método específico, pois a reação envolve todos os grupamentos fenólicos existentes no meio, além de substâncias redutoras adicionadas aos alimentos ou naturalmente presente nos mesmos, como o ácido ascórbico, açúcares e alguns aminoácidos (Naczk, Shahidi, 2004). Estas substâncias estão presentes no yacon e em concentrações significantes em relação à massa fresca e outras ainda foram utilizadas como agentes antiescurecimento, o que contribuiu para esses resultados superestimados.

3.2.3. pH do yacon minimamente processado

A variação do pH foi significativa em relação ao tipo de agente antiescurecimento utilizado no processamento mínimo (pF = 0,0019) e o tempo (pF < 0,0001), ambos como fatores independentes. A presença ou não de nitrogênio na embalagem não influenciou significativamente esta medida.

As médias de pH para o yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento foram analisadas pelo Teste Duncan e os resultados podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5. Média de pH do yacon minimamente processado para cada agente antiescurecimento testado e seus respectivos desvios padrão.

Agente antiescurecimento	Média de pH ± DP
Ácido ascórbico	5,85 ± 0,37 ^a
Cisteína	5,48 ± 0,44 ^a
Ácido cítrico	5,72 ± 0,30 ^a
Metabissulfito de sódio	5,63 ± 0,47 ^a
Ácido tartárico	4,34 ± 0,36 ^b

Letras distintas indicam diferença significativa a 5% de probabilidade.

O yacon minimamente processado tratado com ácido tartárico obteve menor média de pH, possivelmente devido a forte capacidade de acidificação que esse ácido possui ($pK_1 = 3,12$) (Carvalho et al., 1999).

Para avaliar o efeito do tempo em relação ao pH, os resultados foram analisados a fim de permitir o ajuste de equações lineares ou quadráticas, no entanto, como isso não foi possível, os resultados médios de pH foram plotados em um gráfico (Figura 3).

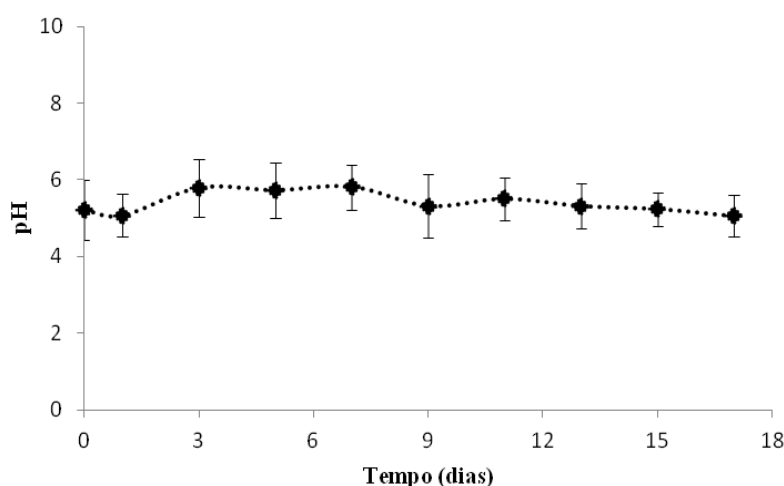


Figura 3. Variação média e desvio padrão do pH do yacon minimamente processado em função do tempo de armazenamento.

Assim como foi observado para a quantificação do teor de fenólicos ao longo do tempo, aqui também ressalta-se pequenas oscilações nas medidas de pH, demonstrando um comportamento similar.

3.2.4 Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado

A curva analítica para determinação da concentração de proteínas totais, obtida pela quantificação de diferentes concentrações de soluções contendo BSA, permitiu o ajuste da equação linear $Abs = 37,18P + 0,0096$ com $R^2 = 0,9667$, em que 'P' representa a quantidade de proteínas (mg/ml) presente na solução preparada a partir de 1 g de amostra de yacon minimamente processado e 'Abs' refere-se à absorbância da solução na equação da curva de calibração. A partir dos dados obtidos com esta curva, foi calculada a atividade enzimática da peroxidase.

A análise estatística foi realizada a partir da diferença entre a atividade enzimática no final do experimento e no início, logo após o processamento. Foi verificada, então, a influência do agente antiescurecimento e do tipo de gás presente na embalagem.

Os resultados mostraram que a presença dos agentes antiescurecimento influenciou a atividade da peroxidase ($pF = 0,0014$), independente da adição ou não de N_2 na embalagem. Diante disso, comparou-se essa influência por meio do Teste de Duncan a 5 % de probabilidade (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ PTN) e desvios padrão da atividade enzimática do yacon minimamente processado tratado com os diferentes agentes antiescurecimento e avaliado logo após o processamento e no último dia de armazenamento.

Agente antiescurecimento	Valor médio \pm DP
Ácido ascórbico	$0,63 \pm 0,37^b$
Cisteína	$1,27 \pm 0,75^a$
Ácido cítrico	$-1,12 \pm 0,64^d$
Metabissulfito de sódio	$1,40 \pm 0,82^a$
Ácido Tartárico	$-0,01 \pm 0,04^c$

Letras distintas diferem entre si a 5 % de probabilidade, pelo Teste Duncan.

O yacon minimamente processado tratado com o ácido ascórbico, metabissulfito de sódio e cisteína apresentou aumento da atividade enzimática com o armazenamento, sendo que o aumento para o yacon tratado com ácido ascórbico foi significativamente menor que os outros dois.

Os sulfitos como metabissulfito de sódio, podem agir diretamente nas enzimas pela diminuição do número de pontes dissulfeto no centro catalítico (Sayavedra-Soto; Montgomery, 1988; Walker; Ferrar, 1998), ou nos compostos de reação, formando sulfonatos sem coloração, ou reduzindo-os aos fenóis precursores (Wong, 1995; Araújo, 2011). Sendo assim, estes agentes antiescurecimento atuam em especial revertendo a reação de oxidação dos compostos fenólicos. Durante o armazenamento, é esperado que a atividade enzimática seja crescente devido ao estresse provocado na raiz e à necessidade de substratos para seu metabolismo, contudo, a presença destes agentes antiescurecimento protege a reação com os fenóis, até que sejam totalmente consumidos, permitindo, conseqüentemente, reduzir o escurecimento enzimático.

O yacon tratado com os ácidos cítrico e tartárico apresentou redução significativa ($p > 0,05$) da atividade enzimática, especialmente o primeiro. Estes agentes acidulantes são geralmente utilizados para manter o pH do meio abaixo do ótimo para a ação catalítica das enzimas e por apresentar ação quelante, complexando o metal presente no sítio ativo da oxidase, inativando-a (Sapers; Miller, 1998; Endo, 2008).

De acordo com Richardson e Hyslop (2000), os grupos ionizáveis da estrutura proteica das enzimas são afetados pelo pH do meio. Estes grupos devem permanecer na

forma iônica apropriada para manter a conformação do sítio ativo da enzima, reconhecer os substratos e catalisar a reação. Mudanças no grau de ionização das enzimas são geralmente reversíveis, exceto em condições extremas de mudança de pH. A depender do quanto a enzima foi afetada, a reversibilidade pode ser diferente.

No estudo de Kamimura (2006), o pH ótimo para peroxidase (POD) de yacon foi de 5,5. Valores de pH abaixo de 5,0 e acima de 7,0 apresentaram redução rápida da atividade da POD, alcançando valores abaixo da metade no pH 4,5 e 7,5. Comparando com estes dados, o yacon minimamente processado tratado com ácido tartárico seria então o mais eficiente na redução da atividade da POD, visto que foi o único a apresentar média menor que 4,5. Os valores individuais de pH oscilaram de 5,26 a 6,36 e 3,68 a 5,05 para os ácidos cítrico e tartárico, respectivamente, permitindo confirmar a importante influencia do ácido tartárico na atividade da POD e sugerir uma irreversibilidade do grau de ionização da enzima.

3.2.5 Coordenadas de cor do yacon minimamente processado

Os resultados da ANOVA para as variáveis de cor do yacon minimamente processado indicaram que a coordenada de cor L* apresentou interação significativa ($pF = 0,0463$) Gás*Tempo. Assim, a interação foi desmembrada e os resultados são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Resumo da ANOVA para o desdobramento da interação Gás*Tempo significativa ($p < 0,05$) para a coordenada de cor L*.

Medida	Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Coordenada de cor L*	Gás	1	55,4404	0,3664 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	53,5293	
	Tempo (Emb sem N ₂)	9	28,4967	0,1594 ^{ns}
	Tempo (Emb com N ₂)	8	38,0600	0,0611 ^{ns}
	Resíduo (b)	35	18,0232	

* Significativo a 5 % de probabilidade; ns = não significativo. Emb = embalagem

Apesar de a ANOVA ter apresentado interação significativa, após o desmembramento, a variação da luminosidade do tipo de gás na embalagem em relação ao tempo, foi não significativa ($p > 0,05$). O armazenamento do yacon em presença de N₂ apresentou um valor de p próximo de 5 %, o que no conjunto, provocou uma interação significativa. Sendo assim, não julgou-se necessário o ajuste de modelos de equação para explicar qualquer variação, pois a mesma foi desconsiderada.

Quanto maior o valor de L*, mais clara é a amostra e, portanto, menor é o escurecimento (Cardoso et al., 2007). Como não houve variação significativa em

relação a esta coordenada, sugere-se que a luminosidade ($\bar{x} = 48,05$) do yacon minimamente processado foi mantida durante os 17 dias de armazenamento.

Os valores calculados a partir da coordenadas de cor - Hue e Índice de escurecimento (IE) não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) para nenhuma das variáveis analisadas.

O ângulo hue (h^*) representa a tonalidade de cor da amostra e pode variar de 0 a 360°, sendo que o ângulo 0° ou 360° representa a cor vermelha, 90° o amarelo, 180° os tons de verde e 270° o azul (Barreiro et al, 1997; Lopez et al, 1997; Cardoso et al., 2007). Todas as leituras foram em torno 90° (entre 92,22 e 105,40°), evidenciando uma tonalidade próxima ao amarelo para todas as amostras, o que já era esperado, pois representa a cor natural da raiz.

O IE ($\bar{x} = 22,96$) demonstra que o comportamento ocorrido foi similar, independente do tipo de agente antiescurecimento ou do gás presente na embalagem confirmando uma redução/controlado do escurecimento do yacon minimamente processado tratado com estes agentes.

Índice Croma, também calculado a partir da coordenadas de cor, apresentou diferença significativa ($pF = 0,0010$) para os agentes antiescurecimento utilizados no yacon minimamente processado. Os valores médios foram comparados pelo Teste Duncan a 5 % de probabilidade e podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8. Média do valor Croma do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento e seus respectivos desvios padrão.

Agente antiescurecimento	Média de Croma \pm DP
Ácido ascórbico	10,56 \pm 1,81 ^c
Cisteína	12,66 \pm 1,29 ^a
Ácido cítrico	10,21 \pm 1,16 ^c
Metabissulfito de sódio	11,99 \pm 1,56 ^b
Ácido tartárico	10,62 \pm 1,50 ^c

Letras distintas indicam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo Teste Duncan.

Índice Croma (C^*) refere-se à intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza, assim, o maior valor significa a mais pura e intensa cor (Pomeranz; Meloan, 1971; Rodrigues et al, 2003). Valores menores correspondem ao padrão de cor mais fraco (“aspectos fosco do objeto”) e valores mais altos ao padrão de cor mais forte (“cores vivas”) (Cardoso et al., 2007). Como o yacon in natura não apresenta uma intensidade de cor elevada era esperado valores baixos para essa medida.

De acordo com Rocha e Morais (2002), um aumento na saturação (valor de Croma) indica um aumento na pigmentação geral. Desta forma, pode-se inferir que há

menor pigmentação do yacon tratado com os agentes antiescurecimento ácidos ascórbico, cítrico e tartárico. Isto sugere que estes ácidos possivelmente retardam com maior intensidade a formação de pigmentos durante o armazenamento e consequentemente, o escurecimento da raiz.

3.2.6. Variação de massa do yacon minimamente processado

Os resultados da ANOVA para a variação de massa do yacon minimamente processado apresentaram alteração significativa em relação ao agente antiescurecimento ($pF = 0,0020$) e tempo de armazenamento ($pF = 0,0031$).

As médias da variação de massa obtidas para o yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento foram analisadas pelo Teste Duncan e os resultados podem ser visualizados na Tabela 9.

Tabela 9. Média da variação de massa (%) do yacon minimamente processado para cada agente antiescurecimento testado e seus respectivos desvios padrão.

Agente Antiescurecimento	Média da variação de massa \pm DP
Ácido ascórbico	0,38 \pm 0,49 ^b
Cisteína	0,22 \pm 0,32 ^b
Ácido cítrico	0,17 \pm 0,18 ^b
Metabissulfito de sódio	1,30 \pm 1,49 ^a
Ácido tartárico	1,39 \pm 1,18 ^a

Letras distintas indicam diferença significativa a 5% de probabilidade.

Essa medida está associada à presença de uma embalagem, capaz de promover restrições das trocas gasosas da raiz com o meio, criando um ambiente de atmosfera modificada passiva (Carvalho; Lima, 2002) e da interação entre os fatores do meio (temperatura, umidade e velocidade do ar) e inerentes ao vegetal (relação superfície/volume, natureza da superfície protetora e integridade física). Assim, a variação de massa total consiste em um somatório da perda de água por transpiração e da perda de matéria seca pela respiração, sendo o primeiro, determinante majoritário das reduções quantitativa e qualitativa dos vegetais (Finger; Vieira, 2002).

A variação de massa foi significativamente ($p < 0,05$) maior para o yacon minimamente processado tratado com ácido tartárico e metabissulfito de sódio, contudo, não se encontrou uma explicação para esse comportamento.

Para avaliar o efeito do tempo na variação de massa, um modelo de equação linear foi ajustado: variação de massa (%) = $0,1478 + 0,0694 * T$ ($pF < 0,0001$; $R^2 = 0,8716$), em que T representa o tempo de armazenamento, em dias. A perda de massa tende a

aumentar durante o armazenamento, o que é esperado, devido à perda de água por transpiração e de matéria seca pela respiração, conforme mencionado anteriormente.

3.2.7. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado

As propriedades de textura - dureza, fraturabilidade, adesividade, mastigabilidade, coesividade e elasticidade - do yacon minimamente processado analisadas por meio da diferença entre os valores obtidos após o processamento mínimo (Tempo 0) e no último dia de armazenamento (17º dia), demonstraram variação significativa apenas para fraturabilidade instrumental ($pF = 0,0417$) em relação aos agentes antiescurecimento estudados.

O perfil dos atributos instrumentais que não demonstraram efeito significativo ($p > 0,05$) para as variáveis analisadas foi expresso graficamente, segundo as médias de cada atributo para cada agente antiescurecimento testado e pode ser observado na Figura 4. Nessa figura, o ponto central da escala refere-se à -5, visto que há valores negativos dentro dos atributos instrumentais avaliados, e a intensidade aumenta do centro para a sua periferia. A média observada de cada atributo instrumental para cada agente antiescurecimento aplicado no yacon minimamente processado é marcada no eixo correspondente.

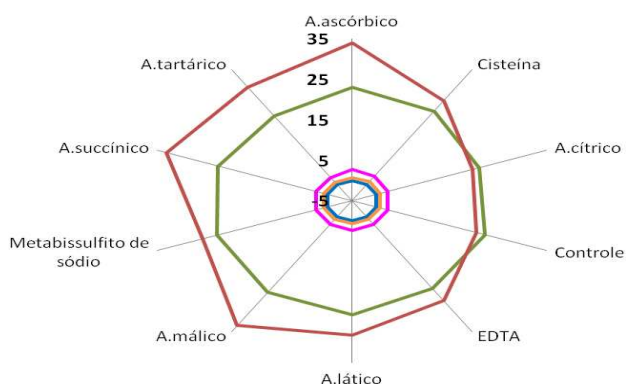


Figura 4. Perfil de textura instrumental do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento.

— Dureza ((N); — Mastigabilidade (J); — Elasticidade (mm); — Coesividade (adimensional); — Adesividade (Ns).

Comparando os resultados, observa-se que os atributos instrumentais adesividade, coesividade e elasticidade apresentaram valores muito próximos e também próximos de zero, o que era esperado, pois estes atributos não são característicos deste tipo de material alimentício.

A adesividade e a coesividade são medidas correlacionadas, e quando a primeira é menor, como foi o caso, a probe do texturômetro permanece sem amostra aderida. Na situação normal de mastigação, a amostra não ficaria aderida aos dentes (Antunes, 2003). Isto ocorre durante o consumo de yacon.

A mastigabilidade refere-se à força requerida para mastigar alimentos sólidos até a deglutição, ou seja, o número de mastigadas necessárias para deixar o alimento em condições de ser ingerido. Esta medida é uma propriedade secundária do perfil de textura instrumental, sendo o resultado do produto dos parâmetros dureza, coesividade e elasticidade e, portanto, apresenta alta correlação positiva com a dureza (Bourne, 1978; Fox, 2000) que é um dos fatores determinantes na aceitabilidade do alimento pelo consumidor (Bhattacharya; Choudhury, 1994).

A diferença entre as medidas após o processamento e no último dia de armazenamento de fraturabilidade instrumental foi comparada pelo teste Duncan a 5 % de probabilidade e os resultados estão expostos na Tabela 10.

Tabela 10. Diferença média (N) e desvios padrão do atributo fraturabilidade instrumental para o yacon minimamente processado tratado com os diferentes agentes antiescurecimento.

Agente Antiescurecimento	Diferença média ± DP
Ácido ascórbico	- 0,03 ± 0,08 ^a
Cisteína	1,52 ± 1,28 ^a
Ácido cítrico	- 1,99 ± 1,25 ^b
Metabissulfito de sódio	0,12 ± 0,07 ^a
Ácido Tartárico	0,02 ± 0,62 ^a

Letras distintas diferem entre si a 5 % de probabilidade, pelo Teste Duncan.

Os resultados obtidos indicam que o yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento metabissulfito de sódio e ácidos ascórbico e tartárico apresentaram uma fraturabilidade instrumental muito próxima de zero, indicando que esses agentes antiescurecimento alteraram muito pouco esta medida.

Apenas para o yacon tratado com ácido cítrico a redução desta medida após 17 dias de armazenamento foi significativamente ($p < 0,05$) diferente. Este resultado pode ter ocorrido devido a vários fatores combinados que acontecem durante o armazenamento como, por exemplo, a perda de água, a hidrólise dos frutanos (FOS e inulina) e atividade da peroxidase, responsável pela lignificação causada em situações de estresse.

3.3. Correlação entre as medidas físico-químicas

As características físico-químicas que apresentaram variação significativa ($p < 0,05$) em relação ao agente antiescurecimento e/ou presença de nitrogênio na embalagem foram pH, atividade enzimática, croma, variação de massa e fraturabilidade instrumental. Sendo assim, foi verificada a correlação existente entre essas medidas, por meio do Coeficiente de Correlação de Pearson. Os resultados estão na Tabela 11.

Tabela 11. Coeficiente de correlação entre os valores médios das análises físico-químicas realizadas com o yacon minimamente processado.

Medidas	Croma	Atividade Enzimática	Variação de massa	Fraturabilidade instrumental
pH	0,1198	0,1546	-0,6473*	-0,0747
Croma		0,8219*	0,0552	0,6675*
Atividade Enzimática			0,2542	0,7705*
Variação de massa				0,0667

* significativo à 5 % de probabilidade

Observa-se correlação significativa e positiva ($p < 0,05$) entre croma com atividade enzimática e fraturabilidade instrumental. Esta correlação é pertinente com o que foi encontrado neste estudo, visto que os melhores resultados de croma para o yacon minimamente processado, ou seja, os agentes antiescurecimento que permitiram menor pigmentação da raiz foram os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico, que concomitantemente, obtiveram as menores variações da atividade enzimática. Assim também ocorreu com a fraturabilidade instrumental que exibiu valores muito próximos de zero especialmente para o yacon tratado com os ácidos ascórbico e tartárico.

Em relação ao pH, nota-se uma correlação significativa e negativa ($p < 0,05$) com a variação de massa. O yacon minimamente processado tratado com ácido tartárico apresentou menor média de pH e simultaneamente, a maior média para variação de massa.

4. CONCLUSÃO

A análise sensorial descritiva indicou que o yacon minimamente processado tratado com EDTA e ácido láctico, ambos na concentração de 1 %, mantém as características peculiares da raiz. No entanto, sob as condições realizadas neste experimento, estes agentes não foram capazes de controlar/inibir o escurecimento enzimático do yacon, permitindo um armazenamento máximo de 5 dias sob refrigeração

($5,5 \pm 0,3$ °C). De maneira similar, o yacon tratado com os ácidos málico e succínico e o sem tratamento (controle) também demonstrou o mesmo comportamento, ou seja, estes cinco agentes antiescurecimento, não permitiram o controle das reações de escurecimento, bem como a presença ou não de nitrogênio na embalagem. As determinações dos compostos fenólicos e da atividade enzimática, para estes tratamentos, exibiram aumento da oxidação dos primeiros com o tempo de armazenamento e nenhum controle sobre as peroxidases. Desta forma, apesar da pouca influência sobre as características sensoriais, esses agentes, nas concentrações avaliadas, não são efetivos no controle do escurecimento enzimático.

A análise sensorial do yacon tratado com os agentes antiescurecimento sulfurados (cisteína e metabissulfito de sódio) exibiu características desagradáveis de sabor, mesmo sob baixas concentrações. Por outro lado, a influência deles na manutenção da cor e, conseqüentemente, na redução do escurecimento enzimático foi favorável, propiciando um armazenamento prolongado do yacon (17 dias).

Este tempo de armazenamento prolongado também ocorreu com o yacon minimamente processado tratado com os agentes ácidos ascórbico, cítrico e tartárico. No entanto, os resultados das análises físico-químicas demonstraram maior efetividade destes ácidos no controle das reações enzimáticas e características sensoriais intermediárias em relação ao controle, com exceção do ácido tartárico que se diferenciou por apresentar os maiores escores para gosto ácido, adstringência e aroma ácido, possivelmente resultado do baixo pH. Portanto, já está em curso um novo estudo para avaliar sensorial e físico-quimicamente esses três ácidos, individualmente e em misturas, a fim de encontrar a combinação mais adequada para a manutenção da coloração clara natural do yacon minimamente processado e variações não significativas de seus atributos sensoriais típicos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, A.J. **Funcionalidade de proteínas do soro de leite bovino**. ed. Manole LTDA, 2003, 165 p.

ARAÚJO, J.M.A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. 4ª. ed. Viçosa: UFV, 2011. 601 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST'S (AOAC). **Official methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 17 th. Arlington: AOAC Inc., 2000.

AVALLONE, S.; GUIRAUD, J.; BRILLOUET, J.; TEISSON, C. Enzymatic browning and biochemical alterations in black spots of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.). **Current Microbiology**, v. 47, p. 113-118, 2003.

BARREIRO, J.; MILANO, M.; SANDOVAL, A. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 3-4, p. 359-371, 1997.

BHATTACHARYA, S.; CHOUDHURY, G. S. Twin-screw extrusion of rice flour: effect of extruder length-to-diameter ratio and barrel temperature on extrusion parameters and product characteristics. **Journal of Food Process and Preservation**, v.18, p.389-406, 1994.

BLOOR, S. J. Overview of methods for analysis and identification of flavonoids. **Methods in Enzymology**, v. 335, p. 3-14, 2001.

BOURNE, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**, v. 32, p. 62-66, 1978.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**. v. 72, p. 248-254, 1976.

CARDOSO, W.S.; PINHIRO, F.A.; PATELLI, T.; PEREZ, R.; RAMOS, A.M. Determinação da concentração de sulfito para a manutenção da qualidade da cor em maçã desidratada. **Revista Analytica**, v. 29, 2007.

CARNEIRO, C. E. A.; ROLIM, H. M. V.; FERNANDES, K. F. Estudo das atividades de peroxidase e polifenoloxidase de guariroba (*Syagrus oleracea* Becc) sob a ação de diferentes agentes antiescurecimento. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v. 25, n. 1, p. 189-193, 2003.

CARVALHO, A. V.; LIMA, L. C. O. Qualidade de kiwis minimamente processados e submetidos a tratamento com ácido ascórbico, ácido cítrico e cloreto de cálcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 679-685, 2002.

CARVALHO, E.C.P.; COSTA, S.; FRANCO, C.; CURVELO-GARCIA, A.S. Acidificação de mostos e vinhos. O ácido L(+)-láctico em alternativa ao ácido L(+)-tartárico. **Ciência e Técnica Vitivinícola**. v. 14, n. 2, p. 67-77, 1999.

CARVALHO, S.; TOLEDO, I.; ARAÚJO, F.; PEREIRA, G. Fructanos en raices tuberosas de yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl.) expuestas al sol y almacenadas bajo condiciones ambientales. **Agro-Ciencia**, Botucatu, v.20, n.1, p.17-23, 2004.

CHAVES, M.C.V.; GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C.; LEITE, J.C.A.; SILVA, F.L.H. Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**.v. 4, n. 2, 2004.

CHITARRA, M.I.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005. 535 p.

COCHRAN, W.; COX, G.M. **Diseños experimentales**. México, Editorial Trillas, 7. ed. 1981. 661p.

COSTA, A.C.; ANTUNES, P.L.; ROMBALDIN, C.V.; GULARTE, M.A. Controle do escurecimento enzimático e da firmeza de polpa em pêssegos minimamente processados. **Ciência Rural**. v.41, n.6, 2011.

DAMASIO, M.H.; COSTELL, E. Análisis sensorial descriptivo: generación de descriptores y selección de catadores. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 165-178, 1991.

DING, C.K.; CHACHIN, K.; UEDA, Y.; IMAHORI, Y.; WANG, C.Y. Metabolism of phenolic compounds during loquat fruit development. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.49, p.2883-2888, 2001.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Hortaliças minimamente processadas**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 2003. 133p.

ENDO, E.; SOARES, N.F.F.; SANTOS, D.A.; BORGES, S.V.; FONTES, E.A.F.; GONÇALVES, M.P.J.C. **Uso de filmes ativos na conservação da batata minimamente processada**. Semina: Ciências Agrárias. v. 19, n. 02, p. 349-360, 2008.

FANTE, C.A.; VILAS BOAS, A.C.; COSTA, A.C.; SILVA, E.P.; OLIVEIRA, M.C.; LIMA, L.C.O. 1-MCP nos aspectos fisiológicos e na qualidade pós-colheita de maçãs Eva durante o armazenamento refrigerado. **Ciência Rural**. v. 43, n. 12, p. 2142-2147, 2013

FINGER, F.L.; VIEIRA, G. **Controle da perda pós-colheita de água em produtos hortícolas**. Cadernos didáticos, Viçosa: UFV, v. 19, 2002. 29p.

FOX, P.F.; GUINEE, T.P.; COGAN, T.M.; McSWEENEY, P. L.H. **Fundamentals of Cheese Science**. Maryland: Ed. Aspen Publication, 2000, 587 p.

GRAEFE, S.; HERMANN, M.; MANRIQUE, I.; GOLOMBEK, S.; BUERKERT, A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v.86, p.157-165, 2004.

GUTIÉRREZ MAYDATA, A. Café, antioxidantes y protección a la salud. **Medisan**, v.6, n.4, p.72-81, 2002.

HENDRY, G.A.F.; WALLACE, R.K. The origin, distribution, and evolutionary significance of fructans. In: Suzuki, M.; Chatterton, N.J., eds, **Science and Technology of Fructans**. CRC Press, Boca Raton, FL, p.119–139, 1993.

IOANNOU, I.; GHOU, M. Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. **European Scientific Journal**. v.9, n.30, p. 310-341, 2013.

KAMIMURA, G.K.F; **Isolamento, Purificação e Caracterização da Peroxidase de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)** Dissertação de Mestrado em Ciências dos Alimentos, Universidade Estadual Paulista, Unesp. Araraquara, 2006. 114p.

KAR, M.; MISHA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.

LOPEZ, A.; PIQUE, M.; BOATELLA, J.; ROMERO, A.; FERRAN, A.; GARCIA, J. Influence drying conditions on the hazelnut quality. III. Browning. **Drying Technology**, v. 15, n. 3–4, p. 989–1002, 1997.

LÓPEZ-LÓPEZ, M.; VEJA-ESPINOZA, A.; AYÓN-REYNA, L.; LÓPEZ-VALENZUELA, J.; VEJA-GARCÍA, M. Combined effect of hot water dipping treatment, N-acetylcysteine and calcium on quality retention and enzymatic activity of fresh-cut apple. **Journal of Food, Agriculture & Environment**. v.11, n.2, p. 243-248, 2013.

MANRIQUE, I.; PÁRRAGA, A.; HERMANN, M. Yacon syrup: Principles and processing. Series: **Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)**. n. 8B. International Potato Center, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Erbacher Foundation, Swiss Agency for Development and Cooperation. Lima, Peru, 2005, 31p.

MARANGONI, A.L. **Potencialidade de aplicação da farinha de yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos à base de cereais**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 2007, 125p.

MARSHALL, M.R.; KIM, J.; WEI, C.I. Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods. **Food Science and Human Nutrition**, 2000.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. The Spectrum™ Descriptive Analysis Method. In: MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T, editores. **Sensory Evaluation Techniques**. 3ª. ed. New York: CRC Press; 1999. p. 173-229.

MELO, Â.A.M.; VILAS BOAS, E.V.B. Inibição do escurecimento enzimático de banana maçã minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.26, n.1, p.110-115, 2006.

MENOLLI, L. N.; FINGER, F. L.; PUIATTI, M.; BARBOSA, J. M.; RARROS, R. S. Atuação das enzimas oxidativas no escurecimento causado pela injúria por frio em raízes de batata-baroa. **Acta Scientiarum Agronomy**. v.30, n.1, p.57-63, 2008.

MICHELS, I. **Aspetos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) armazenamento em Gásalagens com atmosfera modificada**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v.1054, p.95-111, 2004

NEVES, V.A.; SILVA, M.A. Polyphenol Oxidase from Yacon Roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.55, p.2424-2430, 2007.

OLIVEIRA, L.A. **Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): Compostos fenólicos totais e efeitos sobre a glicemia e estresse oxidativo em ratos diabéticos**. Dissertação de Mestrado em Ciências Nutricionais, Universidade estadual paulista, Araraquara, 2010.

PADILHA, V. M., ROLIM, P. M., SALGADO, S. M., LIVERA, A. V. S., OLIVEIRA, M. G. Tempo de secagem e da atividade de óxido-redutases de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) sob tratamento químico. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2178-2184, 2009.

PATHARE, P.B.; OPARA, U.L.O.; AL-SAID, F.AI-J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technology**, 2012.

- POMERANZ, Y.; MELOAN, C.E. **Food Analysis: Theory and practice** (1st ed). Westport Connecticut: The AVI Publishing Company Corporation, 1971, 669p.
- QUEIROZ, C.; LOPES, M.L.M.; FIALHO, E.; VALENTE-MESQUITA, V.L. Polyphenol oxidase: Characteristics and mechanisms of browning control. **Food Reviews International**. v.24, n.4, p.361-375, 2008.
- REIS, F.R.; LENZI, M.K.; MASSON, M.L. Effect of vacuum drying conditions on the quality of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices: process optimization toward color quality. **Journal of Food Processing and Preservation**. v.36, p.67-73, 2011.
- RIBEIRO, J. A. **Estudo químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídios fecais de ratos**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008, 181p.
- RICHARDSON, T.; HYSLOP, D. B. Enzimas. In: FENNEMA, O. R. (Dir.) **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acríbia, 2000. p. 501-503
- ROCHA, A.M.C.N.; MORAIS, A.M.M.B. Polyphenoloxidase activity and total phenolic content as related to browning of minimally processed 'Jonagored' apple. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 82, n. 1, p. 120-126, 2002.
- RODRIGUES, A.C.C.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M. D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **Journal of Food Engineering**, n. 59, p. 129-135, 2003.
- RODRIGUES, M.Z.; MARTINS, E.M.F.; BRANDÃO, V.I.; MADEIRA, R.O.; CAMPOS, A.N.R.; RAMOS, A.M. Application of antioxidants to extend the shelf life of processed minimally yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**. v. 3, n. 1, p. 28-40, 2013.
- SAPERS, G.M.; MILLER, R.L. Browning inhibition in fresh-cut pears. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 2, p. 342-346, 1998
- SAYAVEDRA-SOTO, L. A.; MONTGOMERY, M. W. Response contour diagrams to describe effects of moisture, storage, temperature, and sulfur dioxide on color of dried apples. **Journal of Food Science**, v.53, n.2, p.643-644, 1988.
- SELLÉS-MARCHART, S.; CASADO-VELA, J.; BRU-MARTÍNEZ, R. Isolation of a latent polyphenol oxidase from loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl.): kinetic characterization and comparison with the active form. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.446, p.175-185, 2006.
- SILVA, J. M.; FILLET SPOTO, M.H.; ONGARELLI, M.G.; FUMI SASAKI, F.; SAAVEDRA DEL AGUILA, J.; KLUGE, R.A. Uso do antioxidante 4-hexylresorcinol em abacaxi minimamente processado. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 8, n. 2, p.101-107, 2007.
- SIMONOVSKA, B.; VOVK, I.; ANDRENESEK, S.; VALENTOVA, K.; ULRICHOVA, J. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. **Journal of Chromatography A**, v.1016, n.1, p.89-98, 2003.

- SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELARAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, part. A, p. 152-177, 1999.
- SOUZA, B.S.; DURIGAN, J.F. Processamento mínimo de abacaxi. In: **Manual de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças**. Embrapa Hortaliças, Brasília,DF, 2007.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **User's procedures guide**. Version 9.2, Cary: SAS Institute, Inc 1989. 2v.
- STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. 3rd ed. San Diego: Elsevier Academic, 2004. 377p.
- TOIVONEN, P.M.A.; BRUMMELL, D.A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**. v.48, n.1, p.1-14, 2008.
- VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 321-325, 2001.
- VALENTOVÁ, K.; ULRICHOVÁ, J. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* – prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. **Biomedical Papers**, Czech Republic, v.147, n.2, p.119-130, 2003.
- VAMOS-VIGYAZO, L. Polyphenoloxidase and peroxidase in fruit and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 15, p. 49-127, 1981.
- VASCONCELOS, C.M.; MINIM, V.P.R.; CHAVES, J.B.P. Yogur bajo en calorías añadido con harina de yacón: desarrollo y evaluación físico-química. **Revista Chilena de Nutrición**.v. 39, n. 3, p. 65-71, 2012.
- VERMA, S.; DUBEY, R.S. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. **Plant Science**. v.164, n.4, p. 645–655, 2003.
- WALKER, J. R. L.; FERRAR, P. H. Diphenol oxidases, enzyme-catalysed browning and plant disease resistance. **Biotechnology & Genetic Engineering Reviews**, v. 15, p. 468, 1998.
- WONG, D. W. S. **Química de los alimentos: mecanismos e teoria**. Zaragoza: Acríbia, 1995. p. 233-236, 365, 372.
- ZHOU, Y.; DAHLER, J.M.; UNDERHILL, S.J.R.; WILLS, R.B.H. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. **Food Chemistry**, v. 80, p. 565-572, 2003.

CAPÍTULO 2

EFEITO ANTIESCURECIMENTO DA COMBINAÇÃO DE ÁCIDOS ASCÓRBICO, CÍTRICO E TARTÁRICO NA QUALIDADE DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*) MINIMAMENTE PROCESSADO

RESUMO

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) apresenta quantidades expressivas de peroxidase, enzimas que, quando liberadas, entram em contato com os substratos específicos e oxigênio, promovendo o escurecimento do alimento. Além da presença das enzimas oxidativas, também são encontrados nas raízes, significativas quantidades de fenólicos, compostos com potencial antioxidante, capacidade quelante e que modulam a atividade de vários sistemas enzimáticos, promovendo saúde. A presença considerável tanto das enzimas oxidativas quanto dos compostos fenólicos torna as raízes do yacon bastante susceptíveis à reação de escurecimento enzimático e conseqüentemente, às perdas relacionadas. Para limitar o fenômeno de oxidação da raiz, diversos tratamentos químicos podem ser utilizados, no presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito antiescurecimento dos ácidos ascórbico, cítrico e tartárico em combinação, a fim de verificar maior eficiência no controle das reações oxidativas e conseqüentemente, preservar o conteúdo de fenólicos no yacon, e suas características sensoriais peculiares. Foi utilizado o delineamento experimental de mistura sendo a concentração final de cada solução composta apenas por um ácido ou a mistura deles, de $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$. O delineamento de mistura para três componentes totalizou 13 ensaios, sendo o ponto central avaliado 5 vezes. Análises sensorial (descritiva) e físico-químicas (fenólicos totais, atividade da peroxidase, cor e perfil de textura) foram realizadas periodicamente. A análise sensorial descritiva indicou que o yacon minimamente processado tratado com os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico de forma isolada ou em mistura, totalizando $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$, não apresentou variação dos atributos sensoriais cor, sabor de yacon, gosto doce, aroma adocicado e umidade aparente. Contudo, os atributos brilho, gosto e aroma ácidos, adstringência e aroma de yacon variaram com as concentrações, quanto maior a presença dos ácidos, maior foram as percepções de gosto ácido, aroma ácido e adstringência, especialmente em maiores concentrações do ácido cítrico. Já o brilho e aroma de yacon apresentaram maiores escores em presença de ácido tartárico. Para as análises físico-químicas realizadas, a presença dos ácidos, independente da concentração, permitiu preservar os compostos fenólicos, controlar a atividade enzimática da peroxidase e conseqüentemente, manter a coloração clara da raiz. Quanto às propriedades de textura instrumental, nenhuma mudança significativa ($p > 0,05$) foi observada em relação à mistura dos agentes antiescurecimento e/ou ao tempo de armazenamento. Assim, quanto às análises físico-químicas, a utilização dos ácidos de forma isolada ou em mistura apresentou a mesma eficiência no controle do escurecimento enzimático. Por outro lado, em relação às características sensoriais, para se obter o yacon minimamente processado com atributos mais similares ao yacon in natura, pode-se optar por uma menor concentração do ácido cítrico.

1. INTRODUÇÃO

Frutas e hortaliças fornecem inúmeros benefícios à saúde do consumidor, devido ao teor de fibras, vitaminas e compostos fenólicos presentes. No entanto, muitas mudanças ocorrem, especialmente em relação aos compostos fenólicos, durante a colheita, preparação e armazenamento (Lindley, 1998).

Quando um alimento é ainda um organismo vivo, ele contém vários tipos de enzimas, as quais se encontram dispersas de forma organizada em sistemas altamente integrados, localizados e compartimentalizados em organelas. No processamento de alimentos, o tecido vegetal sofre algum tipo de injúria quando é cortado, amassado ou passa por outros processos, havendo uma descompartimentalização, com liberação das enzimas que, em contato com os substratos específicos e oxigênio, promovem o escurecimento do alimento (Araújo, 2011).

Essas enzimas, do grupo das polifenoloxidasas (PPO), quando catalisam a oxidação dos fenóis, levam à formação de quinonas que, eventualmente se polimerizam não enzimaticamente gerando produtos coloridos indesejáveis, perda da qualidade nutricional e algumas modificações no sabor (Cabello, 2005; Zorzella et al., 2003).

Dentre o grupo das PPO, as peroxidases (POD) têm sido encontradas em concentrações mais expressivas na polpa da raiz de yacon (Ribeiro, 2008; Padilha et al., 2009). Além da presença das enzimas oxidativas, também são encontrados nas raízes, significativas quantidades de fenólicos, compostos com potencial antioxidante, capacidade quelante e que modulam a atividade de vários sistemas enzimáticos, de modo a atuar majoritariamente na dieta como elementos que promovem saúde ante fatores químicos e físicos estressantes para o organismo (Gutiérrez Maydata, 2002). Dentre eles, foram isolados no yacon o ácido clorogênico, derivados de ácido caféico e de ácido altrarico (Takenaka et al., 2003).

A presença expressiva tanto das enzimas oxidativas quanto dos compostos fenólicos torna as raízes do yacon bastante susceptíveis à reação de escurecimento enzimático e conseqüentemente, às perdas relacionadas.

Para limitar o fenômeno de oxidação da raiz, diversos tratamentos químicos são utilizados. Eles diferem por sua ação dependendo dos agentes químicos usados: agente antioxidante, agente de quelação, agente de firmeza e agente acidificante (Ioannou, Ghoul, 2013). De acordo com o estudo prévio realizado com yacon minimamente processado, dentre vários agentes antiescurecimento com diferentes formas de atuação, avaliados isoladamente, os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico mostraram-se os mais

eficientes em controlar as reações enzimáticas, mantendo a cor natural da raiz por 17 dias em armazenamento e, em especial, sem afetar negativamente seus atributos sensoriais, permitindo estes agentes aliar as características tecnológicas e sensoriais em prol de um produto qualitativamente melhor.

Os ácidos cítrico e ascórbico têm a capacidade de reduzir as quinonas formadas pela ação das oxidases impedindo, portanto, a formação de pigmentos escuros, além de poderem agir como inibidores das enzimas oxidativas, por meio do abaixamento do pH (Bezerra et al., 2002), e sequestrando o íon no grupo prostético da oxidase (Sapers; Miller, 1998). É sabido que esses ácidos trabalham em sinergismo para preservação da cor (Chitarra, 2000), potencializando também outros antioxidantes (Chitarra, 2002). O uso do ácido ascórbico como antioxidante, além de ser totalmente seguro para consumo humano, baixo custo e bem aceito pelos consumidores, pode aumentar o teor de vitamina C (Préstamo; Manzano, 1993). Sobre o ácido tartárico, são insuficientes as referências bibliográficas abordando o mecanismo de ação e efeito desse agente nas reações oxidativas.

Desta forma, diante dos bons resultados apresentados pelos ácidos ascórbico, cítrico e tartárico na manutenção da qualidade físico-química e sensorial de yacon minimamente processado, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito antiescurecimento desses ácidos em combinação, a fim de verificar maior eficiência no controle das reações oxidativas e conseqüentemente, preservar o conteúdo de fenólicos no yacon, e suas características sensoriais peculiares.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Processamento mínimo do yacon

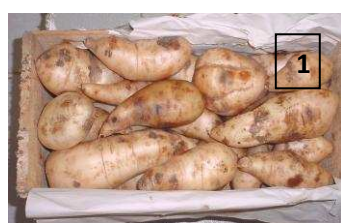
As raízes de yacon utilizadas como matéria-prima, aproximadamente 50 kg, foram adquiridas no comércio da cidade de Viçosa, MG. Os agentes antiescurecimento - ácido ascórbico, ácido cítrico e ácido tartárico - foram todos provenientes da Sigma Aldrich® e as embalagens de polietileno impermeáveis à gases foram obtidas no comércio local.

Os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico e suas concentrações foram definidos a partir de um estudo prévio em que se verificou, por meio de determinações físico-químicas, a eficiência de nove agentes antiescurecimento (ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido tartárico, ácido láctico, ácido málico, ácido succínico, ácido etilendiaminotetracético (EDTA), metabissulfito de sódio e L-cisteína), atuando isoladamente, no controle ou inibição do escurecimento de yacon minimamente

processado e a influência deles em suas características sensoriais. Esses agentes ácidos apresentaram resultados satisfatórios em todas as análises realizadas, permitindo manutenção da coloração clara natural do yacon minimamente processado sem alterar negativamente seus atributos sensoriais típicos.

O processamento das raízes de yacon foi realizado de acordo com as etapas aplicadas em alimentos minimamente processados, recomendadas pela EMBRAPA (2003) com algumas adaptações. Inicialmente as raízes foram selecionadas manual e visualmente para retirada daquelas que se apresentavam impróprias para o consumo e, depois, lavadas em água corrente a temperatura ambiente (20 ± 2 °C). Na sequência foi realizado o descascamento e corte manuais das raízes em fatias cilíndricas de aproximadamente 1,5 cm de espessura. As fatias foram então imersas em solução de dicloro-s-triazinatriona sódica dihidratada (Sumaveg, Suma[®]) a 200 mg/L por 15 minutos, removidas e drenadas em bandejas perfuradas. Em seguida, foi feito o mesmo procedimento imergindo as fatias em solução de enxágue contendo 3 mg/L de Sumaveg por 5 minutos. Aproximadamente 50 fatias de yacon foram imersas em 1 litro de água contendo 0,2 mol do agente antiescurecimento ou da mistura deles, por 5 minutos, removidas e drenadas (2 minutos) novamente. O acondicionamento foi feito em embalagens de polietileno impermeáveis a gases, mas sem alteração da atmosfera presente, e em seguida, armazenado a $5,5 \pm 0,3$ °C em expositor refrigerado. Todas as etapas de imersão foram realizadas em banho de gelo ($3 \pm 0,2$ °C).

A sequência simplificada do processamento das raízes de yacon pode ser visualizada na Figura 1.



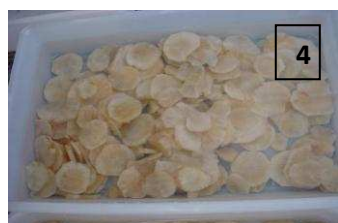
Raízes de yacon *in natura*



Raízes de yacon descascadas



Imersão em solução contendo Sumaveg[®] (200 mg/L por 15 min)



Imersão em solução contendo Sumaveg[®] (3 mg/L por 5 min)



Imersão em solução com o agente antiescurecimento ou mistura deles por 5 min



Yacon tratado com o agente antiescurecimento ou mistura deles após 2 min de drenagem



Acondicionamento do yacon para posterior refrigeração.

Figura 1. Processamento do yacon in natura.

2.2. Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental de mistura para avaliar o efeito dos ácidos ascórbico, cítrico e tartárico no controle do escurecimento enzimático de yacon minimamente processado.

A quantidade adicionada dos ácidos foi de 3 % em relação ao volume de água utilizado para imersão das raízes. Assim, tomando como base de cálculo o ácido de menor massa molar, ácido tartárico, a concentração final de cada solução, seja ela composta apenas por um ácido ou a mistura deles, foi de $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$.

O delineamento de mistura para três componentes totalizou 13 ensaios, sendo o ponto central (ensaio 13) repetido 5 vezes, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Delineamento experimental de mistura para os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico.

Ensaio	Codificados			Concentração (mol.L^{-1})		
	A.cítrico	A.ascórbico	A.tartárico	A.cítrico	A.ascórbico	A.tartárico
1	1	0	0	0,2	0	0
2	0	1	0	0	0,2	0
3	0	0	1	0	0	0,2
4	0,5	0,5	0	0,1	0,1	0
5	0,5	0	0,5	0,1	0	0,1
6	0	0,5	0,5	0	0,1	0,1
7	0,33	0,67	0	0,067	0,133	0
8	0,33	0	0,67	0,067	0	0,133
9	0	0,33	0,67	0	0,067	0,133
10	0	0,67	0,33	0	0,133	0,067
11	0,67	0,33	0	0,133	0,067	0
12	0,67	0	0,33	0,133	0	0,067
13	0,33	0,33	0,33	0,067	0,067	0,067

As fatias de yacon minimamente processadas foram avaliadas sensorial e físico-quimicamente. Na avaliação sensorial descritiva, realizada no tempo 0, ou seja, imediatamente após o processamento, foi utilizado o delineamento em blocos

casualizados com cinco repetições, referente ao ponto central da mistura, sendo os blocos representados pelos julgadores.

As determinações físico-químicas foram realizadas no tempo 0 e com 3, 6, 9, 12, 15 e 17 dias de armazenamento, conforme definido em estudo anterior. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), segundo modelo experimental de mistura com 5 repetições no ponto central.

2.3. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado

Para a análise sensorial descritiva foram inicialmente recrutados alunos da Universidade Federal de Viçosa, por meio de questionários apropriados com objetivo de verificar o bom estado de saúde, disponibilidade de tempo, habilidade para trabalhar com escalas não-estruturadas e familiaridade com termos sensoriais. Todas as etapas foram realizadas no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Federal de Viçosa – UFV, cujas instalações incluem cabines individuais com controle de iluminação.

A pré-seleção dos consumidores foi realizada utilizando o requeijão cremoso da marca comercial Viçosa[®] e o mesmo diluído com 10% de leite desnatado, conforme utilizado por Minim et al. (2010). Na pré-seleção, os candidatos à julgadores foram submetidos a uma série de quatro testes triangulares, com o objetivo de verificar a capacidade de discriminação das amostras. Foram selecionados onze julgadores que obtiveram porcentagem de acerto maior ou igual a 75 % (Scheid, 2001; Spadoti et al., 2005).

Os julgadores selecionados passaram por várias sessões de treinamento utilizando como material a lista de atributos definida em estudo anterior com yacon minimamente processado e os nove agentes antiescurecimento; e os mesmos materiais de referência da escala não estruturada. Foram retirados os atributos sensoriais característicos do antiescurecimento sulfurados (cisteína e metabissulfito de sódio).

Os termos descritivos e as referências utilizadas pela equipe sensorial estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Linguagem sensorial utilizada na Avaliação Sensorial Descritiva de yacon minimamente processado.

Termos	Definição	Referência
Cor	Tonalidade da cor amarela variando de amarelo claro ao amarelo escuro	0 cm = suco Tang [®] limão 4 %; 7,5 cm = suco Tang [®] abacaxi 4 %; 15 cm = suco Tang [®] laranja 4 %
Brilho	Intensidade do brilho na superfície da amostra	0 cm = yacon fresco seco em papel; 15 cm = yacon fresco após 30 min imerso em água
Gosto doce	Gosto estimulado por açúcares como sacarose, frutose e glicose	Solução de sacarose: 2 cm = 2 %; 5 cm = 5 %; 10 cm = 10 %
Gosto ácido	Gosto estimulado por ácidos, tais como ácido cítrico, málico e outros	Solução de ácido láctico: 2 cm = 0,05 %; 5 cm = 0,08 %; 15 cm = 0,15 %
Adstringência	Substância que produz a sensação de “amarrar a boca”	5 cm = 2 sachê de boldo/200 mL de água fervida; 15 cm = 0,33 % suco de uva Bela Ischia [®]
Sabor de yacon	Sabor característico de yacon	15 cm = yacon fresco
Aroma de yacon	Aroma característico de yacon	15 cm = yacon fresco
Aroma adocicado	Aroma característico da presença de açúcares	0 cm = água; 15 cm = solução saturada de sacarose
Aroma ácido	Aroma característico da presença de ácidos	0 cm = água; 15 cm = 2 % suco de limão Tang [®]
Umidade aparente	Força e som ao qual a amostra se rompe	3 cm = cenoura; 7,5 cm = maçã

A seleção final da equipe de julgadores constou da análise de yacon minimamente processado em um delineamento de blocos casualizados, com três repetições (Cochran, Cox, 1981). Foram avaliadas fatias de yacon sem tratamento (controle) e tratadas com ácido ascórbico, as quais foram apresentadas numa mesma sessão, em três repetições. Foram avaliados os atributos de características mais discrepantes entre as amostras analisadas: cor, brilho, gosto ácido, aroma ácido e adstringência. Os julgadores utilizaram uma ficha de avaliação contendo os termos descritivos e escala não estruturada de 15 centímetros. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com duas fontes de variação (ensaio e repetição) para os dados de cada julgador, em cada termo descritivo avaliado. Aqueles que apresentaram bom poder discriminatório ($pF_{\text{ensaio}} \leq 0,50$) e repetibilidade de resultados ($pF_{\text{repetição}} \geq 0,05$) em todos termos descritivos avaliados, segundo metodologia proposta por Damásio e Costell (1991), foram considerados aptos para a avaliação final das amostras, totalizando 6 julgadores.

A avaliação final das amostras das raízes de yacon tratadas com a mistura dos agentes ácidos ocorreu somente no tempo 0, ou seja, imediatamente após processadas. Cada julgador recebeu as amostras em pratos descartáveis codificados com números de três dígitos aleatórios. A forma de apresentação também foi aleatória, sendo que em cada sessão o julgador avaliava no máximo 3 amostras. Os julgadores receberam, juntamente às amostras, um copo de água à temperatura ambiente (20 ± 2 °C) e a ficha de avaliação com os termos descritivos e escala não estruturada de 15 cm.

2.4. Características físico-químicas do yacon minimamente processado

2.4.1. Determinação de fenólicos totais do yacon minimamente processado

Para a quantificação dos fenólicos totais, os extratos contendo os compostos fenólicos foram obtidos conforme descrito por Bloor (2001) com algumas adaptações. A análise para quantificá-los foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Singleton et al. (1999).

Para obtenção do extrato, 1 grama da polpa da raiz minimamente processada foi homogeneizado em processador, modelo Ultra Turrax IKA T18 basic (18000 rotações/min), com 10 mL de solução de metanol:água (60:40 v/v). A mistura foi centrifugada (7.000 g, por 10 minutos). O sobrenadante foi transferido para tubos de ensaio e o volume completado com água destilada até obter a concentração de 0,0666 g de polpa/mL. Retirou-se 1 mL desse extrato e acrescentou 1 mL de Folin-Ciocalteu (diluído 5 vezes em água) e 1 mL de solução de carbonato de sódio a 7,5 % em água (m/v) e deixou-se reagir por 30 minutos, em temperatura ambiente (23 °C). A absorvância em 765 nm foi lida em espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS (Kyoto, Japão).

A curva analítica de ácido gálico, em seis concentrações variando de 0 a 500 mg/L, foi elaborada para expressar os resultados em miligramas de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 1 grama de yacon.

2.4.2. Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado

A determinação da atividade de peroxidase (POD) foi efetuada de acordo com o método de Kar e Misha (1976), com algumas adaptações.

Para obtenção do extrato bruto para quantificação da peroxidase, 1 g de yacon minimamente processado foi acrescentado de 10 mL de tampão fosfato de potássio (0,1 M; pH 6,8) adicionado de 0,1 mM de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), 1 mM de fluoreto de fenilmetilsulfônico (PMSF) e 1 % de polivinilpirrolidona (PVPP -

p/v). Em seguida, foi efetuada a homogeneização em processador, modelo Ultra Turrax IKA T18 basic (18000 rotações/min) e filtração em 4 camadas de gaze. O filtrado foi então centrifugado a 12.000 g durante 15 minutos a 4 °C. Após a centrifugação, o sobrenadante foi retirado e reservado. Todo o processo de obtenção do extrato foi realizado em banho de gelo.

Para a leitura da absorbância foram adicionados 2,9 mL de tampão fosfato de potássio (25 mM; pH 6,8 acrescido de 20 mM de guaiacol e 20 mM de peróxido de hidrogênio) e 100 µL do sobrenadante em uma cubeta de vidro colocada em espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS (Kyoto, Japão) durante 2 minutos a 420 nm.

O cálculo da atividade enzimática (AE) da peroxidase foi realizado utilizando-se a fórmula:

$$EA = \frac{\Delta A}{\epsilon} \times \frac{V}{m_{\text{prot}}} \times D \quad \text{Equação 1}$$

Em que ΔA é a absorbância média obtida após 2 minutos de leitura; $\epsilon = 26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ e representa o coeficiente de extinção molar de tetraguaiacol, um produto de oxidação do guaiacol (Verma; Dubey, 2003); V é a quantidade do meio de reação para a leitura da absorbância = 3 mL; m_{prot} = massa de proteína contida na amostra; D = fator de diluição.

2.4.2.1. Determinação da concentração de proteínas totais do yacon minimamente processado

As quantificações das proteínas totais nos extratos foram realizadas empregando-se a metodologia descrita por Bradford (1976). Para a obtenção da curva analítica, 0,1 mL das soluções padrões de proteína, em cinco concentrações variando de 20 a 100 µg/mL de albumina de soro bovino (BSA), foram adicionadas a 1,0 mL da solução do reagente Azul Brilhante de Commassie. Após 10 min de reação, a absorbância do complexo formado era medida espectrofotometricamente em 595 nm. Construída a curva analítica, adicionou-se 0,1 mL do extrato bruto à solução do reagente; a absorbância do complexo formado foi medida também em 565 nm depois de 20 min de reação, para determinação da concentração de proteína no extrato, por meio da curva analítica.

2.4.3. Análise instrumental de cor do yacon minimamente processado

As coordenadas de cor foram determinadas por meio do colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta) segundo o sistema CIE-Lab, utilizando-se do espaço de cor (L*a*b*). As coordenadas têm os seguintes significados: L*, medida da luminosidade de um material e varia de zero (preto/escuro) até 100 (branco/claro); a* representa a variação da intensidade entre o vermelho e verde (-a*=verde e +a*=vermelho) e b* é a variação da intensidade do amarelo ao azul (-b*=azul e +b*=amarelo).

As determinações foram realizadas diretamente na fatia de yacon em pontos aleatórios, com duas leituras para cada fatia.

A partir dos valores encontrados para as coordenadas de cor L*a*b* foram calculados o índice de escurecimento (IE), Cromo (C*) e o ângulo hue (h*), usando as equações 2, 3 e 4, respectivamente (Pathare; Opara; Al-Said, 2012).

$$IE = \frac{[100(x-0,31)]}{0,172}, \text{ sendo } x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,645L^* + a^* - 3,012b^*)} \quad \text{Equação 1}$$

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad \text{Equação 2}$$

$$h^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Equação 3}$$

De acordo com os valores obtidos de a* e b*, a fórmula para o cálculo do ângulo h* pode ser modificada da seguinte forma (Fante et al., 2013):

- Valores de a* e b* > 0: h* = tan⁻¹ (b*/a*);
- Valores de a* < 0 e b* > 0: h* = 180° + tan⁻¹ (b*/a*);
- Valores de a* e b* < 0: h* = 270° + tan⁻¹ (b*/a*);
- Valores de a* > 0 e b* < 0: h* = 360° + tan⁻¹ (b*/a*).

2.4.4. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado – Teste de penetração

A análise de perfil de textura (TPA) foi conduzida em máquina universal de teste mecânico (Instron – Série 3367, Estados Unidos, 2005). As amostras foram colocadas centralmente sob uma sonda cilíndrica de alumínio (5 mm de diâmetro) que comprime a amostra a uma profundidade de 4 mm de um ciclo de compressão dupla (35 % da altura

da amostra), a uma velocidade de 1 mm/s. Por meio da medição da carga (N) como uma função de tempo (s) foram analisados os atributos dureza (N), fraturabilidade (N), coesividade (adimensional), mastigabilidade (J) e elasticidade (mm) pelo software Blue Hill 2.0 (Instron, Estados Unidos, 2005) a partir das curvas de força (N) x tempo (s) geradas durante o teste. As análises foram realizadas em 5 fatias de yacon para cada ensaio, após o processamento e no último dia de armazenamento.

2.5. Análise estatística

Os dados coletados na análise sensorial descritiva foram avaliados por meio da ANOVA com duas fontes de variação (ensaio e julgador) e interação Ensaio*Julgador para cada atributo sensorial. Para os atributos sensoriais que apresentaram interação significativa ($p < 0,05$), foi verificada a magnitude dessas interações por meio de gráficos de intensidade dos atributos por Ensaio por Julgador. Os dados dos julgadores que demonstraram interação grave foram retirados da análise dos resultados para o respectivo atributo. Os atributos sensoriais que demonstraram $p < 0,05$ foram avaliados utilizando-se equações de regressão múltipla linear, quadrática, cúbica especial e quártica especial, juntamente a elaboração das curvas de nível conforme condições estudadas.

Para as análises físico-químicas foram verificadas as fontes de variação: Ensaio, Tempo e interação Ensaio*Tempo. Para os resultados que apresentaram $p < 0,05$ foram utilizadas equações de regressão múltipla linear, quadrática, cúbica especial e quártica especial, para analisar os efeitos das variáveis independentes (x_1, x_2, x_3) do processo nas respostas (y_i). As curvas de nível foram elaboradas conforme níveis estudados, utilizando-se as equações de regressão múltipla. A resposta pode ser escrita como sendo função (f) de x: $y_i = f(x_1, x_2, x_3)$.

As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico SAS (Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., North Carolina, USA, 1989) versão 9.3 licenciado para a Universidade Federal de Viçosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado

A avaliação do yacon minimamente processado foi realizada por 6 julgadores. Dos dez atributos avaliados, apenas um deles, a adstringência, demonstrou efeito significativo ($p < 0,05$) para a interação ensaio*julgador. Os julgadores que ocasionaram

essa interação e o tipo de interação foram identificados por meio de um gráfico do escore médio por ensaio por julgador. Como a interação significativa ocorreu devido à presença de escores bem discrepantes (maior 6,5 em relação à média) de alguns julgadores, esses dados foram retirados da análise. Sendo assim, foram eliminados os escores de um julgador para 5 ensaios; e de outro julgador para apenas 1 ensaio.

Retirados os escores discrepantes para esse atributo sensorial, a ANOVA foi recalculada, sendo encontrada interação ensaio*julgador não significativa ($p>0,05$) para todos os atributos avaliados.

A análise dos resultados identificou que, independente do ensaio utilizado no tratamento do yacon minimamente processado, não houve variação significativa ($p>0,05$) para os atributos sensoriais cor, gosto doce, sabor de yacon, aroma adocicado e umidade aparente. Para ilustrar os resultados, o perfil desses atributos sensoriais foi expresso graficamente segundo as médias de cada atributo para cada mistura dos ácidos testados (ensaios) e pode ser observado na Figura 2. O ponto central da escala refere-se a 0 e a intensidade aumenta do centro para a sua periferia.

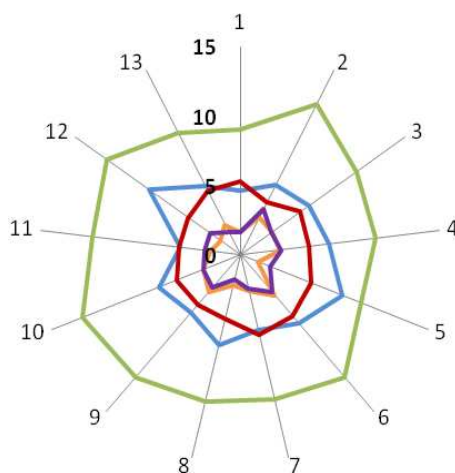


Figura 2. Perfil sensorial do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento para os atributos sem diferença significativa ($p>0,05$).
— Sabor de yacon; — Cor; — Umidade aparente; — Aroma adocicado; — Gosto doce.

As médias para o atributo sensorial cor foram próximas de 5 cm na escala de 15 cm, sugerindo que a presença dos agentes antiescurecimento favoreceu a manutenção da cor clara do yacon. O sabor de yacon próximo de 10 cm alude que possivelmente a presença desses ácidos alterou seu sabor característico. Gosto doce e aroma adocicado exibiram médias semelhantes, em torno de 3 cm. O gosto doce presente na raiz de yacon é variável dependendo do tempo de armazenamento, sendo que a forma recém-colhida

apresenta maior teor de frutooligossacarídeos (FOS) e inulina, que com o tempo são hidrolisados formando açúcares simples (glicose, frutose e sacarose), que conseqüentemente, acentuam o gosto adocicado da raiz (Seminario; Valderrama; Manrique, 2003). Outro fato que pode ter contribuído para os baixos escores desses atributos, está relacionado com a presença do gosto ácido, mascarando a percepção dos primeiros.

A umidade aparente também próxima de 5 cm indica que todas as amostras avaliadas apresentam essa característica comparavelmente entre a cenoura e maçã, utilizadas como referências, confirmando uma certa crocância à raiz.

Para os atributos que variaram significativamente ($p < 0,05$) foram ajustadas equações de regressão, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Modelo de equação de regressão de mistura da variação dos atributos sensoriais brilho, gosto ácido, adstringência, aroma ácido e aroma de yacon em função da concentração dos agentes antiescurecimento (C, A ou T), seu coeficiente de determinação (R^2) e nível de probabilidade (p).

Atributo sensorial	Modelo de regressão	R^2	P(F)
Brilho	11,8069C + 11,6819A + 14,6164T	0,9957	<0,0001
Gosto ácido	7,4430C + 4,9032A + 3,3224T	0,9334	<0,0001
Adstringência	4,4104C + 2,3960A + 3,1487T	0,9181	<0,0001
Aroma ácido	7,8372C + 4,8259A	0,9226	0,0004
Aroma de yacon	8,8030C + 11,1980A + 11,7218T	0,9226	<0,0001

C = ácido cítrico, A = ácido ascórbico, T = ácido tartárico.

De acordo com as equações ajustadas, observa-se que houve o predomínio de alguns ácidos na percepção sensorial dos atributos. Gosto ácido, adstringência e aroma ácido foram mais expressivos em maiores concentrações do ácido cítrico, sendo que o aroma ácido não variou em função do ácido tartárico. Contrariamente, ocorreu com o aroma de yacon que foi menos perceptível em maiores concentrações do ácido tartárico. O brilho sensorial manifestou-se principalmente em maiores quantidades deste ácido.

A variação dos escores em função das concentrações dos agentes antiescurecimento para os atributos sensoriais brilho, gosto ácido, adstringência, aroma ácido e aroma de yacon, com base nas equações ajustadas podem ser visualizadas por meio das superfícies de resposta e das curvas de nível. Independente do ácido utilizado na construção dos gráficos, o comportamento foi semelhante, portanto, optou-se por ilustrar apenas um de cada, sendo todos em relação aos ácidos cítrico e ascórbico

(Figuras 3, 4 e 5). Vale lembrar que o atributo aroma ácido variou apenas em função das concentrações dos ácidos ascórbico e cítrico.

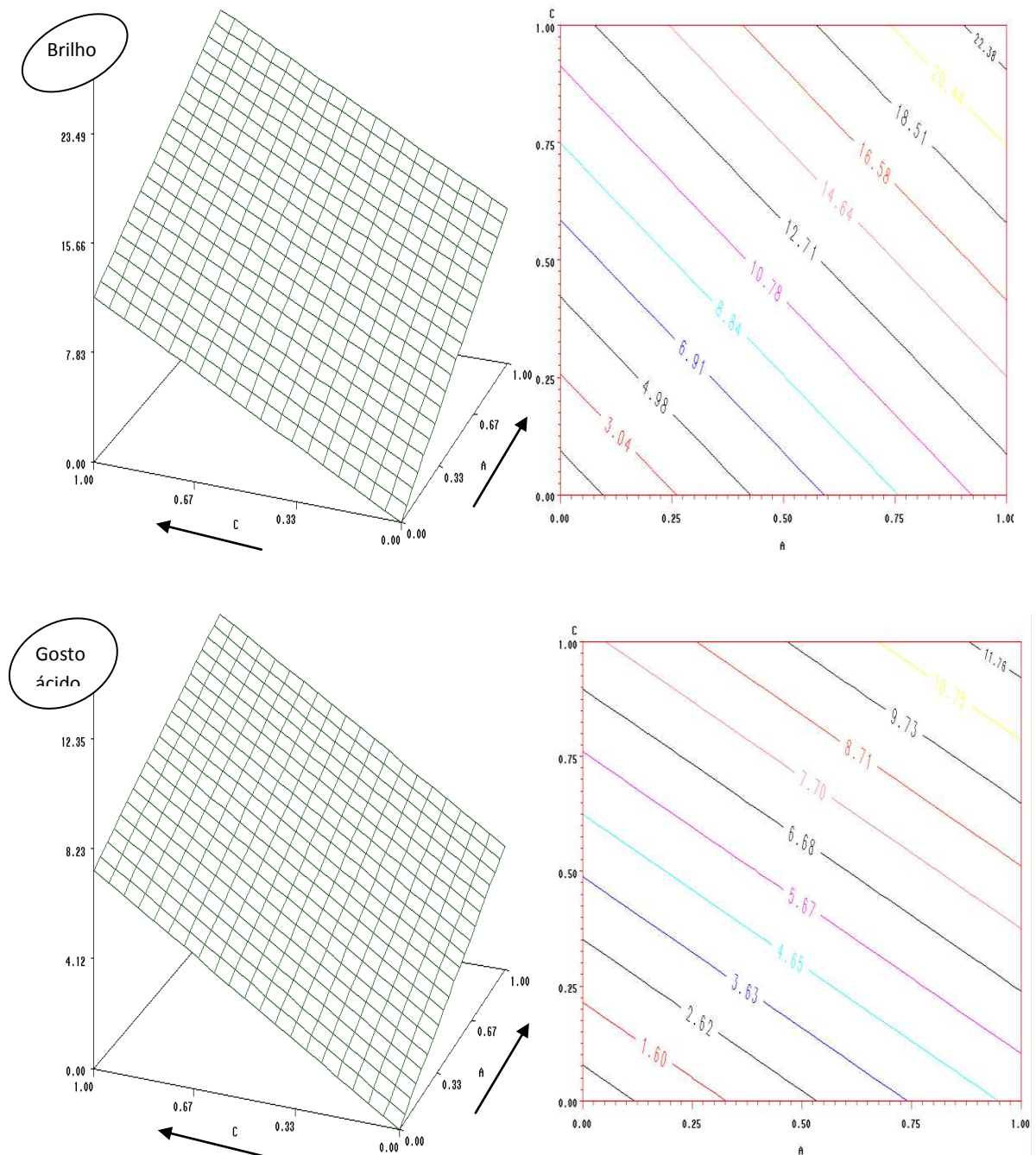


Figura 3. Superfície de resposta e curvas de nível dos atributos sensoriais brilho e gosto ácido do yacon minimamente processado em função da concentração de ácido cítrico (C) e ascórbico (A). Para a construção destes gráficos, o nível de ácido tartárico adotado foi igual à zero.

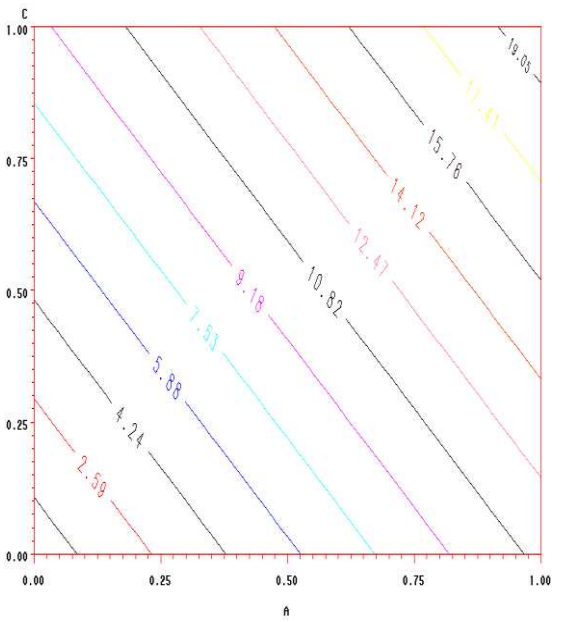
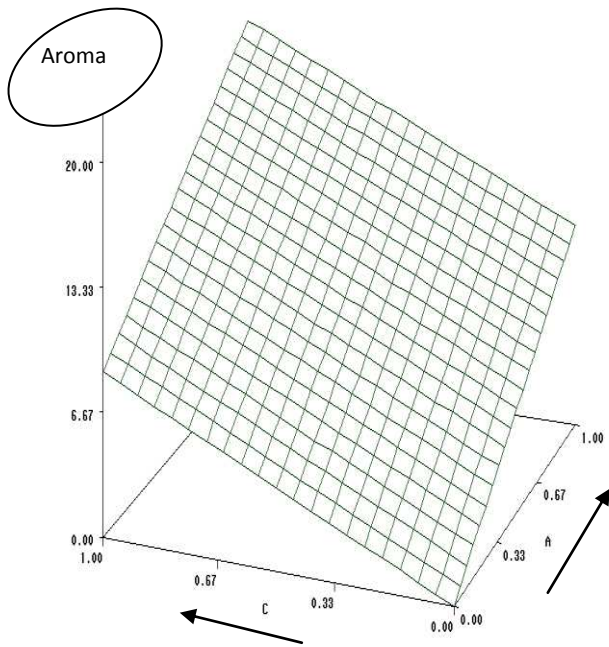
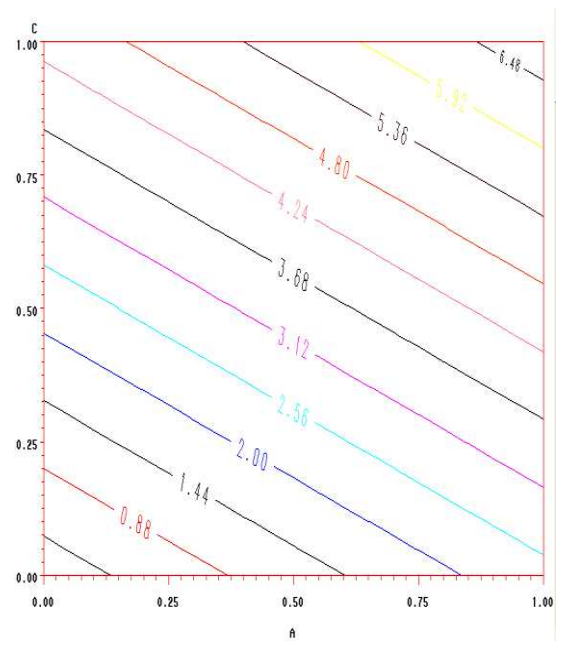
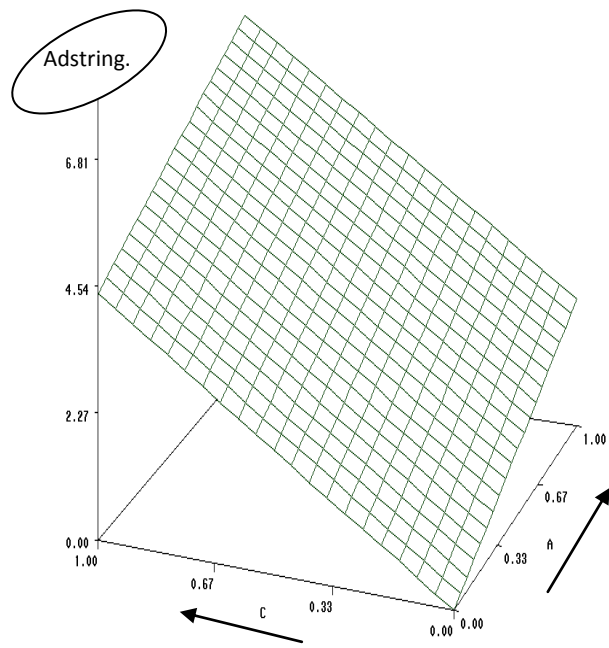


Figura 4. Superfície de resposta e curvas de nível dos atributos sensoriais adstringência e aroma de yacon do yacon minimamente processado em função da concentração de ácido cítrico (C) e ascórbico (A). Para a construção destes gráficos, o nível de ácido tartárico adotado foi igual à zero.

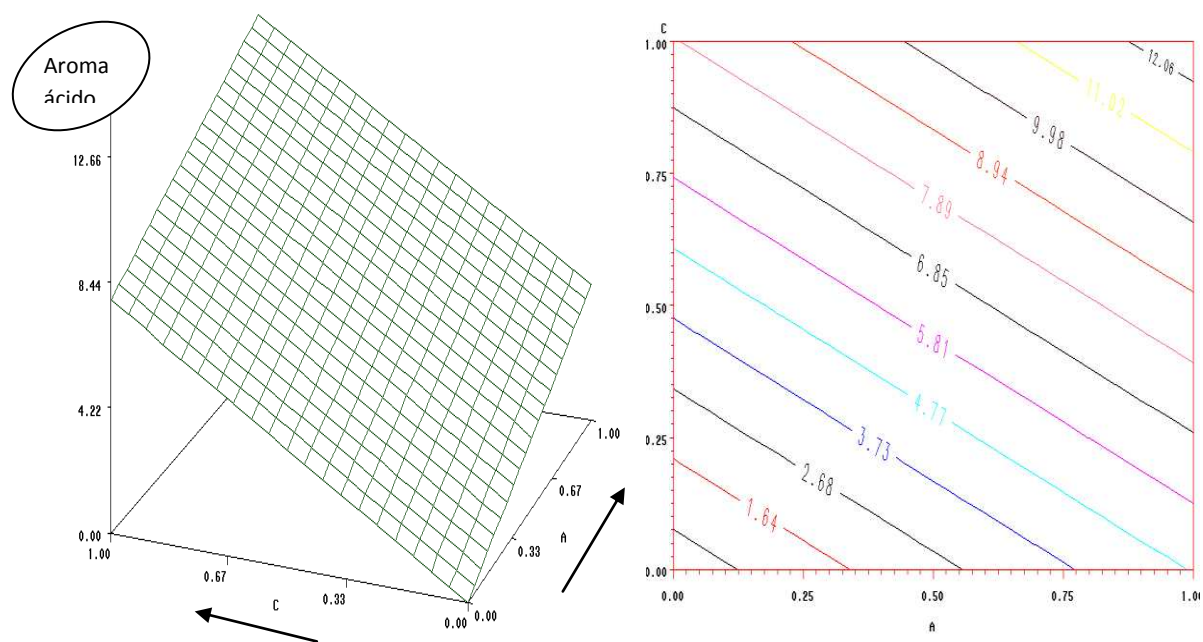


Figura 5. Superfície de resposta e curvas de nível do atributo sensorial aroma ácido do yacon minimamente processado em função da concentração de ácido cítrico (C) e ascórbico (A).

Na Tabela 4 são apresentados os coeficientes de correlação entre os atributos sensoriais avaliados nas amostras de yacon minimamente processado.

Tabela 4. Coeficiente de correlação entre os escores médios dos atributos sensoriais de yacon minimamente processado avaliados na análise sensorial descritiva.

	Brilho	Gosto doce	Gosto ácido	Adstringência	Sabor de yacon
Cor	0,6434*	-0,2336	-0,1073	0,0627	0,1630
Brilho		0,0951	-0,2900	-0,2379	0,1369
Gosto doce			-0,3304	-0,2401	0,5195
Gosto ácido				0,7159*	-0,6953*
Adstringência					-0,3968
	Aroma de yacon	Aroma Adocicado	Aroma ácido	Umidade aparente	
Cor	0,4256	0,1227	-0,1440	0,1858	
Brilho	0,4686	-0,0268	-0,3582	0,4804	
Gosto doce	0,3877	0,7214*	-0,4667	0,0387	
Gosto ácido	-0,7738*	-0,4436	0,8045*	0,1109	
Adstringência	-0,5296	-0,3116	0,4569	-0,2101	
Sabor de yacon	0,8131*	0,7050*	-0,6846*	-0,4564	
Aroma de yacon		0,5803*	-0,7668*	-0,1539	
Aroma Adocicado			-0,4134	-0,1180	
Aroma ácido				0,3144	

* significativo à 5 % de probabilidade

De acordo com os coeficientes de correlação obtidos (Tabela 4), nota-se que os atributos sabor e aroma de yacon correlacionam negativamente ($p < 0,05$) com gosto e aroma ácidos, ambos provenientes da presença dos agentes antiescurecimento avaliados, enquanto que estes atributos ácidos se correlacionam positivamente, assim como gosto ácido e adstringência. Desta forma, é possível concluir que o aumento da concentração dos agentes antiescurecimento no yacon minimamente processado reduz suas características peculiares.

O sabor e aroma de yacon também correlacionaram positivamente ($p < 0,05$) com gosto e aroma doce, sugerindo que quanto maior são os atributos doce do yacon, mais característico é seu sabor.

3.2. Características físico-químicas do yacon minimamente processado

3.2.1. Determinação de fenólicos totais do yacon minimamente processado

A curva analítica elaborada para expressar os resultados em miligramas de Equivalentes de Ácido Gálico (EAG), permitiu o ajuste da equação linear $Abs = 2,5601F - 0,0008$ com $R^2 = 0,9646$; em que 'F' representa a quantidade de fenólicos totais, representados pelo ácido gálico, presente em 1 g de amostra de yacon minimamente processado e 'Abs' refere-se à absorvância da solução na equação da curva de calibração do ácido gálico.

A partir dos dados obtidos com essa curva foi feita a ANOVA. O teor de fenólicos não variou significativamente em relação à interação Ensaio*Tempo ($pF=0,8122$), indicando que os ácidos e suas respectivas concentrações agiram de forma semelhante durante o armazenamento. No entanto, a quantidade de compostos fenólicos variou com o tempo de armazenamento, como fator isolado ($pF=0,0149$). Como não foi possível ajustar um modelo de equação para explicar esse comportamento, os valores médios em mg EAG/g de yacon minimamente processado e seus desvios padrão, para os três ácidos avaliados, foram plotados em um gráfico (Figura 6).

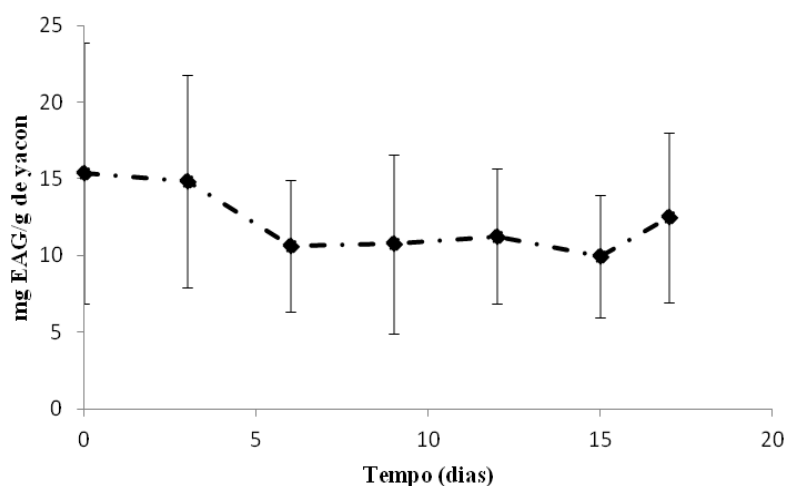


Figura 6. Variação média e desvio padrão do teor de fenólicos em mg EAG/g do yacon minimamente processado em função do tempo de armazenamento.

A quantidade de fenólicos apresentou uma variação oscilatória com o tempo de armazenamento. Uma justificativa para esse comportamento estaria relacionado às enzimas oxidativas que, além da forma ativa presente no citossol, apresenta formas latentes, encontradas tanto no citossol quanto em plastídios, isoladas do restante da célula (Sellés-Marchart et al., 2006). Devido ao armazenamento refrigerado, as enzimas encontradas na forma latente e os plastídios ainda íntegros podem sofrer modificações com o tempo, levando a ocorrência dessas oscilações na oxidação dos fenólicos. Além disso, o estresse causado ao yacon fatiado pelo armazenamento refrigerado, também pode ter ativado o metabolismo secundário das células, que é uma das rotas formadoras de compostos fenólicos (Ding et al., 2001). Entretanto, todas essas alterações são mais acentuadas no início do período pós-colheita.

O teor de fenólicos encontrado nesse estudo (média = $12,2 \pm 6,3$ mg EAG/g yacon) é bem superior aos achados por Valentová e Ulrichová (2003) e Lachman et al. (2003) que obtiveram cerca de 2 mg/g de yacon fresco. Isto provavelmente ocorreu porque os resultados foram superestimados pela presença de interferentes. O método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu é o mais comumente utilizado, entretanto, não é específico, pois a reação envolve todos os grupamentos fenólicos presentes no meio, além de substâncias redutoras adicionadas aos alimentos ou naturalmente presente nos mesmos, como o ácido ascórbico, açúcares e alguns aminoácidos (Naczki, Shahidi, 2004). Estas substâncias estão presentes no yacon e em concentrações significantes em relação à massa fresca e outras ainda foram utilizadas como agentes antiescurecimento, o que contribuiu para esses resultados relativamente altos.

3.2.2. Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado

A curva analítica para determinação da concentração de proteínas totais permitiu o ajuste da equação linear $Abs = 34,44P - 0,031$ com $R^2 = 0,9718$, em que 'P' representa a quantidade de proteínas (mg/ml) presente na solução preparada a partir de 1 g de amostra de yacon minimamente processado e 'Abs' refere-se à absorvância da solução na equação da curva de calibração à 420 nm. A partir dos dados obtidos com essa curva, foi calculada a atividade enzimática da peroxidase e os resultados foram avaliados pela ANOVA.

A atividade da peroxidase não variou ($p=0,1054$) durante todo o tempo de armazenamento para cada mistura dos agentes antiescurecimento, assim como apenas em relação à composição da mistura ($p=0,0728$). Apenas o tempo de armazenamento, como fator isolado, afetou significativamente ($p=0,0010$) a atividade enzimática da peroxidase, contudo, não foi possível ajustar um modelo de regressão. Assim, os valores médios e seus desvios padrão foram plotados em um gráfico (Figura 7).

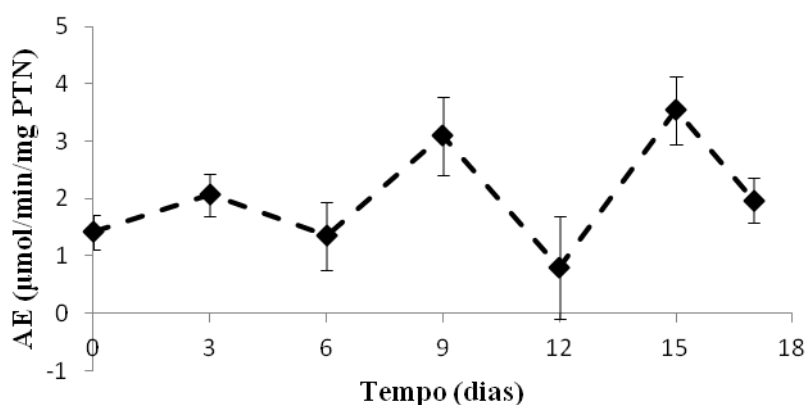


Figura 7. Variação média e desvio padrão dos valores da atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado em função do tempo de armazenamento.

Os ácidos utilizados para tratar o yacon, conhecidos também como agentes acidulantes, são geralmente utilizados para manter o pH do meio abaixo do ótimo para a ação catalítica das enzimas. De acordo com Richardson e Hyslop (2000), os grupos ionizáveis da estrutura proteica das enzimas são afetados pelo pH do meio. Esses grupos devem permanecer na forma iônica apropriada para manter a conformação do sítio ativo da enzima, reconhecer os substratos e catalisar a reação. Mudanças no grau de ionização das enzimas são geralmente reversíveis, exceto em condições extremas de mudança de pH. A depender do quanto a enzima foi afetada, a reversibilidade pode ser mais ou

menos lenta, levando às oscilações observadas na Figura 3, durante o tempo de armazenamento da raiz minimamente processada.

3.2.3. Coordenadas de cor do yacon minimamente processado

Os resultados da ANOVA para todas as medidas de cor do yacon minimamente processado mostraram que, não houve interação significativa ($p>0,05$), sugerindo comportamento semelhante das misturas dos ácidos na manutenção da cor durante o armazenamento. Da mesma forma, a variação não significativa ($p>0,05$) para o efeito da mistura indica que não houve concentrações que se pronunciaram mais intensamente, permitindo, portanto, inferir a efetividade dos ácidos avaliados independente da concentração de cada um deles, desde que totalize $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$.

Os valores da coordenada L, Croma, Hue e Índice de Escurecimento apresentaram diferença significativa ($p<0,05$) em relação ao tempo de armazenamento, no entanto, não foi possível ajustar um modelo de regressão. Assim, os valores médios e seus desvios padrão foram apenas plotados em um gráfico (Figura 8).

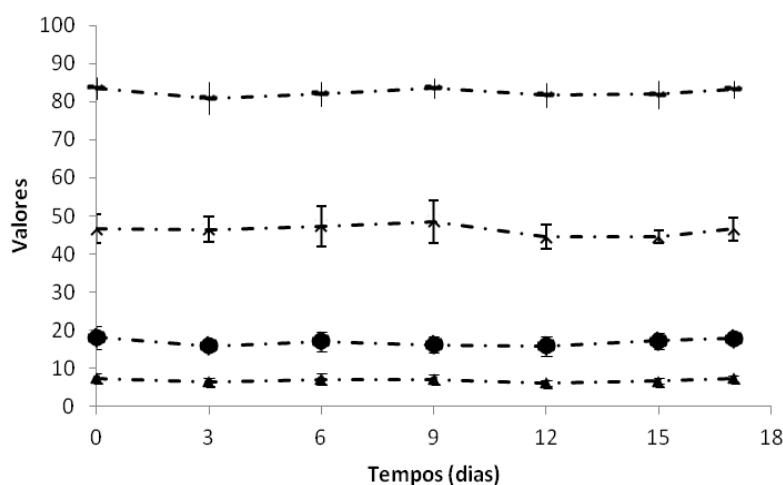


Figura 8. Variação média e desvio padrão dos valores da coordenada L, Croma, Hue e Índice de Escurecimento do yacon minimamente processado em função do tempo de armazenamento.

(▲) Valor de C; (●) Valor de IE; (x) Valor de L*; (-) Valor de Hue.

O gráfico mostra que todas as medidas de cor apresentaram pequenas oscilações com o tempo, corroborando os resultados encontrados para teor de fenólicos totais e atividade enzimática da peroxidase.

Quanto maior o valor de L*, mais clara é a amostra e, portanto, menor é o escurecimento (Cardoso et al., 2007). No presente trabalho, como não houve variação desta medida de cor ($p>0,05$) para os ensaios avaliados, é possível afirmar que a

luminosidade do yacon minimamente processado ao final de 17 dias de armazenamento manteve-se próxima àquela logo após processado.

Índice Croma (C^*) refere-se à intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza, portanto, o maior valor significa a mais pura e intensa cor (Pomeranz; Meloan, 1971; Rodrigues et al, 2003). Valores menores correspondem ao padrão de cor mais fraco (“aspecto fosco do objeto”) e valores mais altos ao padrão de cor mais forte (“cores vivas”) (Cardoso et al., 2007). Como o yacon in natura não apresenta uma intensidade de cor elevada era esperado valores baixos para essa medida (médias entre 4,31 e 11,82).

O ângulo hue (h^*) representa a tonalidade de cor da amostra e pode variar de 0 a 360°, sendo que o ângulo 0° ou 360° representa a cor vermelha, 90° o amarelo, 180° os tons de verde e 270° o azul (Barreiro et al, 1997; Lopez et al, 1997; Cardoso et al., 2007). Todas as leituras foram em torno 90° (entre 70,87 e 87,87°), evidenciando uma tonalidade próxima ao amarelo para todas as amostras, o que já era esperado, pois representa a cor natural da raiz.

O Índice de Escurecimento (IE) apresentou reduzidos valores, entre 10,85 e 27,38; e, como não houve variação em relação à mistura dos agentes antiescurecimento ($p>0,05$), pode-se admitir que todas as concentrações até 0,2 mol.L⁻¹ destes agentes foram efetivas no controle do escurecimento enzimático.

3.2.4. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado

As propriedades de textura - dureza, fraturabilidade, adesividade, mastigabilidade, coesividade e elasticidade - do yacon minimamente processado foram analisadas por meio da diferença entre o valor obtido após o processamento mínimo e no último dia de armazenamento.

Todas as medidas instrumentais de textura apresentaram $p>0,05$ indicando que o tempo de armazenamento e/ou a mistura dos agentes antiescurecimento, não provocaram alteração deste atributo. Sendo assim, a presença dos agentes antiescurecimento permitiu a manutenção das características da textura durante os 17 dias de armazenamento.

Para visualização dos resultados, o perfil de textura instrumental foi expresso graficamente segundo as médias de cada atributo para cada mistura dos agentes antiescurecimento testados (ensaios) e pode ser observado na Figura 9. No gráfico, o ponto central da escala refere-se à -5, visto que há valores negativos dentre os atributos instrumentais avaliados, e a intensidade aumenta do centro para a sua periferia. A média

observada de cada atributo instrumental de textura para cada ensaio aplicado no yacon minimamente processado é marcada no eixo correspondente.

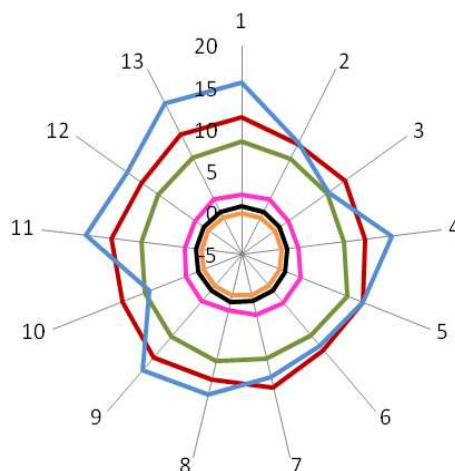


Figura 9. Perfil de textura instrumental do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento.

— Mastigabilidade (J); — Dureza (N); — Fraturabilidade (N); — Elasticidade (mm); — Coesividade (adimensional); — Adesividade (Ns).

A análise do perfil de textura pode ser considerada como uma operação de imitação do processo de mastigação. O instrumento usado para a análise opera com dois ciclos de compressão (Besbes et al., 2009). São registradas curvas força-tempo e a partir destas podem ser determinados os indicadores mecânicos (Tunick, 2000; Szczesniak, 2002; Caine et al., 2003).

As medidas instrumentais adesividade (força requerida para remover o alimento que adere ao palato, quando introduzido na boca), coesividade (grau que uma substância é comprimida entre os dentes antes de se romper) e elasticidade (grau que o produto volta à sua forma normal após a compressão ser removida) (Bourne, 1978), apresentaram valores muito próximos entre si e também próximos de zero, o que era esperado, pois estes indicadores não são característicos desse tipo de material alimentício.

A dureza (força máxima requerida para compressão da amostra) é um dos fatores que determina a aceitabilidade do alimento pelo consumidor (Bhattacharya; Choudhury, 1994) e, assim como a fraturabilidade (força pela qual uma amostra salta dos dentes ao esmigalhar ou quebrar em pedaços), é desejável que seus valores sejam baixos (Mendonça et al., 1998).

A mastigabilidade, assim como a gomosidade (energia requerida para desintegrar um alimento semissólido), são medidas de textura instrumental obtidas por cálculo. A mastigabilidade refere-se à força requerida para mastigar alimentos sólidos até a deglutição, ou seja, o número de mastigadas necessárias para deixar o alimento em condições de ser ingerido. Esta medida é uma propriedade secundária do perfil de textura instrumental, sendo o resultado do produto dos indicadores dureza, coesividade e elasticidade e, portanto, apresenta alta correlação positiva com a dureza (Bourne, 1978; Fox, 2000).

Estes resultados demonstraram que independente da mistura dos ácidos, o yacon minimamente processado manteve sua crocância característica, sem alterações que poderiam comprometer seu armazenamento.

4. CONCLUSÃO

A análise sensorial descritiva indicou que o yacon minimamente processado tratado com os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico de forma isolada ou em mistura, totalizando $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$, não apresentou variação dos atributos sensoriais cor, sabor de yacon, gosto doce, aroma adocicado e umidade aparente. Contudo, os atributos brilho, gosto e aroma ácidos, adstringência e aroma de yacon variaram com as concentrações desses agentes antiescurecimento. Em geral, quanto maior a concentração dos ácidos, especialmente do ácido cítrico, maior foram as percepções de gosto e aroma ácidos, bem como de adstringência. Já o brilho e aroma de yacon apresentaram maiores escores em presença de ácido tartárico.

Para as características físico-químicas realizadas, a presença dos ácidos, independente da concentração, permitiu preservar os compostos fenólicos, controlar a atividade enzimática da peroxidase e conseqüentemente, manter a coloração clara da raiz. Apenas houve variação ($p < 0,05$) das características físico-químicas em relação ao tempo de armazenamento, sendo que pequenas oscilações foram observadas nos resultados, entretanto, nada que comprometesse a qualidade do yacon minimamente processado.

Quanto às propriedades de textura instrumental, nenhuma mudança significativa ($p > 0,05$) foi observada em relação à mistura dos agentes antiescurecimento e/ou ao tempo de armazenamento.

Desta forma, é recomendável a utilização dos ácidos ascórbico, cítrico e tartárico, de forma isolada ou em mistura, na concentração de $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$ que, além de serem

seguro para consumo humano, barato e bem aceito pelos consumidores de forma geral, ainda podem prolongar o tempo de armazenamento do yacon minimamente processado. Além disso, para se obter o yacon minimamente processado com atributos mais similares ao yacon in natura, pode-se optar por uma menor concentração do ácido cítrico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J.M.A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. 4ª. ed. Viçosa: UFV, 2011. 601 p.

BARREIRO, J.; MILANO, M.; SANDOVAL, A. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 3–4, p. 359–371, 1997.

BESBES, S.; DRIRA, L.; BLECKER, C.; DEROANNE, C.; ATTIA, H. Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera* L.): Compositional, functional and sensory characteristics of date jam. **Food Chemistry**. v. 112, p. 406-411, 2009.

BEZERRA, V.S.; PEREIRA, R.G.F.A.; CARVALHO, V.D.; VILELA, E.R. Raízes de mandioca minimamente processadas: efeito do branqueamento na qualidade e na conservação. **Ciência Agrotecnica**, v. 26, n. 3, p. 564-575, 2002.

BHATTACHARYA, S.; CHOUDHURY, G. S. Twin-screw extrusion of rice flour: effect of extruder length-to-diameter ratio and barrel temperature on extrusion parameters and product characteristics. **Journal of Food Process and Preservation**, v. 18, p. 389-406, 1994.

BLOOR. S.J. Overview of methods for analysis and identification of flavonoids. **Methods in Enzymology**, v. 335, p. 3-14, 2001.

BOURNE, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**, v. 32, p. 62–66, 1978.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**. v. 72, p. 248-254, 1976.

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

CAINE, W.R.; AALHUS, J.L.; BEST, D.R.; DUGAN, M.E.R.; JEREMIAH, L.E. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. **Meat Science**, v. 64, p.333–339, 2003.

CARDOSO, W.S.; PINHIRO, F.A.; PATELLI, T.; PEREZ, R.; RAMOS, A.M. Determinação da concentração de sulfito para a manutenção da qualidade da cor em maçã desidratada. **Revista Analytica**, v. 29, 2007.

CHITARRA, M.I.F. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 113 p., 2000.

- CHITARRA, M. I. F. **Processamento mínimo de frutos e hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, v. 78, p. 20- 21, 2002.
- COCHRAN, W.; COX, G.M. **Diseños experimentales**. México, Editorial Trillas, 7. ed. 1981. 661p.
- DAMASIO, M. H.; COSTELL, E. Análisis sensorial descriptivo: generación de descriptores y selección de catadores. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 165-178, 1991.
- DING, C.K.; CHACHIN, K.; UEDA, Y.; IMAHORI, Y.; WANG, C.Y. Metabolism of phenolic compounds during loquat fruit development. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.49, p.2883-2888, 2001.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Hortaliças minimamente processadas**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 2003. 133p.
- FANTE, C.A.; VILAS BOAS, A.C.; COSTA, A.C.; SILVA, E.P.; OLIVEIRA, M.C.; LIMA, L.C.O. 1-MCP nos aspectos fisiológicos e na qualidade pós-colheita de maçãs Eva durante o armazenamento refrigerado. **Ciência Rural**. v. 43, n. 12, p. 2142-2147, 2013
- FOX, P.F.; GUINEE, T.P.; COGAN, T.M.; McSWEENEY, P. L.H. **Fundamentals of Cheese Science**. Maryland: Ed. Aspen Publication, 2000, 587 p.
- GUTIÉRREZ MAYDATA, A. Café, antioxidantes y protección a la salud. **Medisan**, v.6, n.4, p.72-81, 2002.
- IOANNOU, I.; GHOUL, M. Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. **European Scientific Journal**. v. 9, n. 30, 2013.
- KAR, M.; MISHA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.
- LACHMAN, J.; FERNANDEZ, E.C.; ORSAK, M. Yacon (*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson) chemical composition and use e a review. **Plant, Soil and Environment**, v. 49, n. 6, p. 283-290, 2003.
- LINDLEY, M.G. The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**. v. 9, n. 8-9, p. 336-340, 1998.
- LOPEZ, A.; PIQUE, M.; BOATELLA, J.; ROMERO, A.; FERRAN, A.; GARCIA, J. Influence drying conditions on the hazelnut quality. III. Browning. **Drying Technology**, v. 15, n. 3-4, p. 989-1002, 1997.
- MENDONÇA, S.; KARAM, L.B.; GROSSMANN, M.V.E. **Análise instrumental de textura e sua correlação com a avaliação sensorial em "snacks" comerciais**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Rio e Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCTA, v.1, p. 84-87, 1998.
- MINIM, V.P.R.; SILVA, R.C.S.N.; MILAGRES, M.P.; MARTINS, E.M.F.; SAMPAIO, S.C.S.; VASCONCELOS, C.M. Análise descritiva: comparação entre metodologias. **Revisto do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 65, n. 374, p. 41:48, 2010.

- NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v.1054, p.95-111, 2004
- PADILHA, V. M., ROLIM, P. M., SALGADO, S. M., LIVERA, A. V. S., OLIVEIRA, M. G. Tempo de secagem e da atividade de óxido-redutases de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) sob tratamento químico. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2178-2184, 2009.
- 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.
- POMERANZ, Y.; MELOAN, C.E. **Food Analysis: Theory and practice** (1st ed). Westpot Connecticut: The AVI Publishing Company Corporation, 1971, 669p.
- PRESTAMO,G.; MANZANO, P. Peroxidases of selected fruits and vegetables and the possible use of ascorbic acid as an antioxidant. **HortScience**. v.28, n.1, p.48-50, 1993.
- RIBEIRO, J.A. **Estudo químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídios fecais de ratos**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008, 181p.
- RICHARDSON, T.; HYSLOP, D. B. Enzimas. In: FENNEMA, O. R. (Dir.) **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acríbia, 2000. p. 501-503.
- ROBERT, C.; RICHARD-FORGET, F.; ROUCH, C.; PABION, M.; CADET F. A Kinetic study of the inhibition of palmito polyphenol oxidase by L-cysteine. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v.28, n.4, p.457-463, 1996.
- RODRIGUES, A.C.C.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M. D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **Journal of Food Engineering**, n. 59, p. 129-135, 2003.
- SAPERS, G.M.; MILLER, R.L. Browning inhibition in fresh-cut pears. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 2, p. 342-346, 1998.
- SCHEID, G.A. **Avaliação Sensorial e Físico-Química de Salame Tipo Italiano com Diferentes Concentrações de Cravoda-Índia (*Eugenia caryophyllus*)**. 2001. 83p. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - MG.
- SELLÉS-MARCHART, S.; CASADO-VELA, J.; BRU-MARTÍNEZ, R. Isolation of a latent polyphenol oxidase from loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl.): kinetic characterization and comparison with the active form. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.446, p.175-185, 2006.
- SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Peru, 2003, 60p.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELARAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, part. A, p. 152-177, 1999.

SPADOTI, L.M.; DORNELLAS, J.R.F.; ROIG, S.M. Avaliação sensorial de queijo prato obtido por modificações do processo tradicional de fabricação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 25, n. 4, p.705-712, 2005.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **User's procedures guide**. Version 9.1, Cary: SAS Institute, Inc 1989. 2v.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 215–225, 2002.

TAKENAKA, M.; YAN, X.; ONO, H.; YOSHIDA, M.; NAGATA, T.; NAKANISHI, T. Caffeic Acid Derivatives in the Roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 51, p. 793-796, 2003.

TUNICK, M.H. Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. **Journal of Dairy Science**, v. 83, p. 1892–1898, 2000.

VALENTOVÁ, K.; ULRICHOVÁ, J. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* – prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. **Biomedical Papers**, Czech Republic, v.147, n.2, p.119-130, 2003.

VERMA, S.; DUBEY, R.S. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. **Plant Science**. v. 164, Issue 4, p. 645–655, 2003.

ZORZELLA, C. A.; VENDRUSCOLO, J. L.; TREPTOW, R. O. Qualidade sensorial de “chips” de diferentes genótipos de batatas (*Solanum tuberosum* L.), cultivos de primavera e outono no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 1, p. 57-63, 2003.

CAPÍTULO 3

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS CONVENCIONAIS DE SEPARAÇÃO E EXTRAÇÃO DE FRUTANOS DO YACON (*Smallanthus sonchifolius*) COM A APLICAÇÃO DE ULTRASSOM

RESUMO

O yacon, *Smallanthus sonchifolius*, é uma raiz que tem despertado grande interesse nos pesquisadores da área de alimentos devido à sua composição, que apresenta principalmente água e carboidratos, sendo que estes estão principalmente sob a forma de frutanos (frutooligossacarídeos – FOS - e inulina). Estes frutanos podem proporcionar diferentes características tecnológicas quando adicionados como ingredientes alimentares, além dos benefícios à saúde, já que essas fibras são metabolizadas pela microflora intestinal e, portanto, possuem efeito prebiótico. Assim, o presente trabalho teve o objetivo de comparar métodos convencionais e o uso de ultrassom na separação e extração das fibras solúveis (FOS e inulina) das raízes de yacon. Os métodos testados para separação foram: aquecimento/congelamento, com ou sem adição de agentes precipitantes (acetona ou etanol) e após sonicação e filtração em peneiras de diferentes mesh. Os métodos testados para extração foram: aquecimento (95°C/15 min) e utilização de ultrassom (500 W; 20 % amplitude; 20 kHz e 10 min). Os métodos convencionais de separação dos FOS e inulina do yacon, bem como a separação por meio do uso de peneiras de diferentes mesh, após a sonicação, mostraram resultados insatisfatórios devido ao reduzido tamanho de suas cadeias, dificultando esse processo. Em relação à extração dos FOS e inulina utilizando o método convencional, estas fibras parecem não ter sido muito resistentes ao tempo e temperatura ao qual foram submetidas, visto que a hidrólise parcial e total foi intensa, aumentando consideravelmente a quantidade de carboidratos simples (frutose, glicose e sacarose). A aplicação do ultrassom demonstrou ser interessante, devido à facilidade de utilização, curto tempo de aplicação e reduzido consumo de energia, otimizando o processo de extração, contudo, as condições aplicadas nesse estudo parecem ter sido bastante severas, permitindo a hidrólise e até mesmo, destruição de alguns componentes da raiz. Sendo assim, valores de potência, amplitude e frequência mais brandos devem ser avaliados, a fim de permitir um melhor desempenho e rendimento de extração das fibras solúveis do yacon.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da ingestão de fibras alimentares tem proporcionado o desenvolvimento de procedimentos tecnológicos para obtenção de concentrados de fibras, a partir de uma gama de matérias-primas (PÉREZ; SÁNCHEZ, 2001). As principais características desses produtos comercializados são: conteúdo total de fibra alimentar maior que 50 %, umidade menor que 9 %, baixo conteúdo de lipídios, baixo valor calórico (menor que 8,36 kJ/g) e gosto e aroma neutros (ANON, 1987; TASTEE APPLE INC, 1991; AMERICAN CRISTAL SUGAR COMPANY, 1991; WOODSTONE FOOD LIMITED, 1991; ARCHER DANIELS MIDLAN CO, 1992).

Os diferentes polissacarídeos que constituem a fibra dietética exercem vários papéis em suas propriedades físico-químicas. Um grupo de polissacarídeos que tem recebido grande atenção nos últimos anos, especialmente na indústria de alimentos são os frutanos tipo inulina (Bodner, Sieg 2009; Izzo, Franck, 1998). Essas fibras possuem propriedades tecnológicas favoráveis à produção de alimentos como a modificação da textura, intensificação da estabilidade do alimento durante o processamento, estocagem e auxílio no transporte de aromas, dentre outras. Além disso, suas características funcionais tem acentuada importância na saúde, pois estão associadas à prevenção de doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer, diabetes, patologias gastrointestinais, obesidade e adequado funcionamento do trânsito intestinal (MATTOS; MARTINS, 2000; MENEZES; GIUNTINI, 2008).

A inulina e os seus hidrolisados, como os frutooligossacarídeos (FOS), podem ser adicionados em produtos lácteos, para melhorar as propriedades texturais e a aceitação sensorial; como substitutos de gordura em produtos cárneos, devido à sua capacidade de formar uma rede de gel estável e imitar algumas das propriedades texturais da gordura; além de substituir parcialmente a sacarose (Yi et al., 2010). Tal como o amido, frutanos do tipo inulina são polissacarídeos de armazenamento encontradas em algumas plantas, por outro lado, contrastando com o mesmo, esses polissacarídeos não são hidrolisados pelas enzimas do intestino delgado, mas são metabolizados pela microflora intestinal para formar ácidos graxos de cadeia curta, L-lactato, CO₂, hidrogênio e outros metabólitos, possuindo portanto, efeitos prebióticos (Sabater-Molina et al., 2009; Nair, Kharb, Thompkinson, 2010).

O yacon, *Smallanthus sonchifolius*, raiz originária dos Andes, tem sido considerado o alimento com maior teor de frutanos na natureza. As raízes contêm entre 10 e 14 % de matéria seca, sendo esta composta por aproximadamente 90 % de

carboidratos (MANRIQUE; PÁRRAGA; HERMANN, 2005; GRAEFE et al., 2004), dentre eles, são encontrados principalmente frutooligossacarídeos (FOS) e inulina (OHYAMA et al. 1990; ASAMI et al. 1991; VASCONCELOS et al., 2010).

Para extrair e separar os frutanos a fim de obter ingredientes alimentícios, vários métodos foram desenvolvidos de acordo com o material testado (chicória, alcachofra de Jerusalém, alho, dentre outros), sendo assim, não há um método global utilizado (ELLEUCH et al., 2011). Alguns estudos de obtenção do extrato de inulina a partir de yacon foram realizados, tomando como base os métodos a quente e a frio utilizados em chicória (YAGINUMA, 2007). Contudo, devido ao baixo grau de polimerização das cadeias de frutanos do yacon, a extração e separação dessas fibras ainda são bastante complexas, sendo portanto, desejável encontrar um método que seja economicamente viável e que apresente um alto rendimento (MILANI, KOOCHKEI, GOLIMOVAAHED, 2011).

A aplicação de ultrassom parece ser promissora uma vez que foram conclusivos e satisfatórios os estudos sobre a extração de proteínas, compostos medicinais, e outros (MASON et al., 1996). Em tecidos de plantas in natura, o ultrassom parece perturbar a parede celular, facilitando assim a liberação de compostos extraíveis e o transporte de massa do solvente a partir da fase contínua nas células vegetais (VINATORU, 2001). Vários pesquisadores afirmam que a aplicação de ultrassom pode ser um método capaz de aumentar a eficiência do processo extração (LI et al, 2004; WEI et al, 2007; WANG, ZHANG, 2006; ZHONG, WANG, 2010).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo comparar métodos convencionais e o uso de ultrassom na separação e extração dos frutanos (FOS e inulina) da raiz de yacon.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Preparação das raízes de yacon

Inicialmente as raízes foram selecionadas para retirada daquelas que se apresentavam impróprias para o consumo e, depois, lavadas em água corrente a temperatura ambiente (20 ± 1 °C). Na sequência foi realizado o descascamento e corte manuais das raízes em fatias cilíndricas de 1,5 cm de espessura para então, serem imersas em solução contendo 0,5 % (m/v) de ácido tartárico por 5 minutos para inativação das enzimas oxidativas. Decorrido o tempo, as fatias de yacon juntamente

com a água contendo o ácido tartárico, foram trituradas em liquidificador doméstico até apresentar uma aparência homogênea.

2.2. Métodos de separação dos frutanos do yacon

2.2.1. Separação dos frutanos do yacon por aquecimento/congelamento

As metodologias testadas para a separação e extração de frutanos (FOS e inulina) dos demais constituintes do yacon, especialmente das fibras insolúveis e carboidratos simples (glicose, frutose e sacarose), foram baseadas nos procedimentos realizados com chicória e alho, por Leite et al. (2004), Park et al. (2000) e Park et al. (2003).

Para separação dos FOS e inulina da raiz, a suspensão contendo o yacon triturado foi inicialmente submetida a dois binômios temperatura/tempo de aquecimento:

- 95 °C por 15 minutos: foram testadas as proporções yacon:água 1:1 (m/v) e 2:1 (m/v). Após o aquecimento, parte das amostras foi filtrada em peneira de plástico, separando a mistura em duas porções, filtrado e torta.

- 75 °C por 1 hora: as fatias de yacon foram trituradas acrescentado 5 vezes o volume de água (em relação à massa de yacon). Após o aquecimento, parte das amostras foi filtrada em papel filtro comum, separando a mistura em duas porções, filtrado e torta.

As amostras submetidas ao aquecimento e que não foram filtradas, bem como o filtrado de cada uma daquelas que foram filtradas, foi colocado em um recipiente transparente de plástico (capacidade 500 mL) e congelado a -18 e -8 °C por 12 e 24 horas, respectivamente, em um congelador vertical. Sucedido esse tempo, as amostras foram descongeladas em temperatura ambiente (20 ± 1 °C) para realizar a separação física entre as fases sobrenadante e precipitado.

A Figura 1 apresenta o fluxograma resumido do processo descrito.

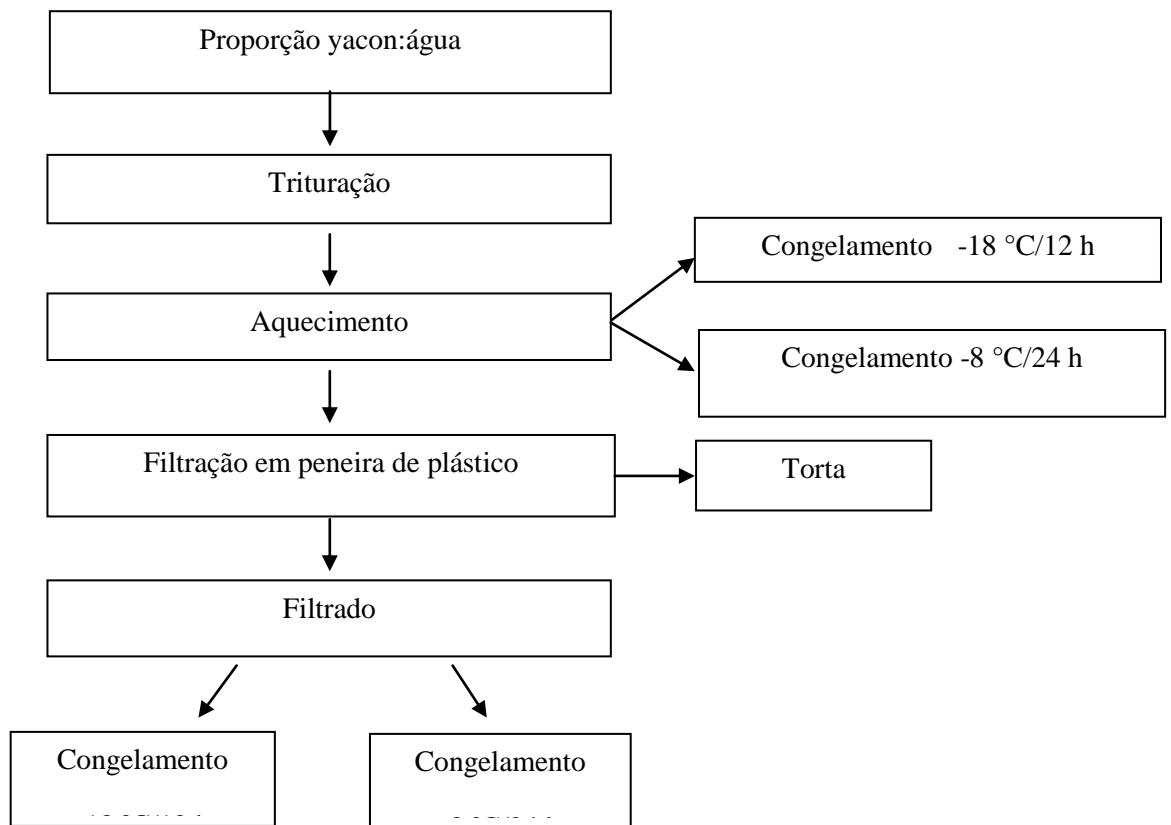


Figura 1. Processo de separação dos frutanos de yacon por aquecimento/resfriamento.

2.2.2. Separação dos frutanos do yacon por adição de agente precipitante

A sequência de passos desse método foi semelhante ao item 2.2.1, sendo acrescentada apenas uma etapa, referente à adição dos agentes precipitantes, etanol e acetona, testados individualmente, logo após o aquecimento, durante a filtração das amostras. A quantidade acrescida desses precipitantes foi a mesma do volume de água.

2.2.3. Separação dos frutanos do yacon após sonicação

A suspensão contendo o yacon triturado na proporção de 1:2 (m/v) foi sonicada em um Desruptor de Células Ultrassônico (Ultrassom Branson 3510, modelo 3510R-DTH), usando uma potência de 80 W, frequência de 20 kHz e temperatura ambiente (20 ± 1 °C), por 10 minutos.

Em seguida, a suspensão sonicada foi filtrada sequencialmente em peneiras de mesh diferentes (35 e 325 mesh). Para remover a parte retida na peneira de 325 mesh, a mesma foi lavada com água destilada.

As etapas de separação do conteúdo de frutanos do yacon, de seus demais constituintes, utilizando este método podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 2.

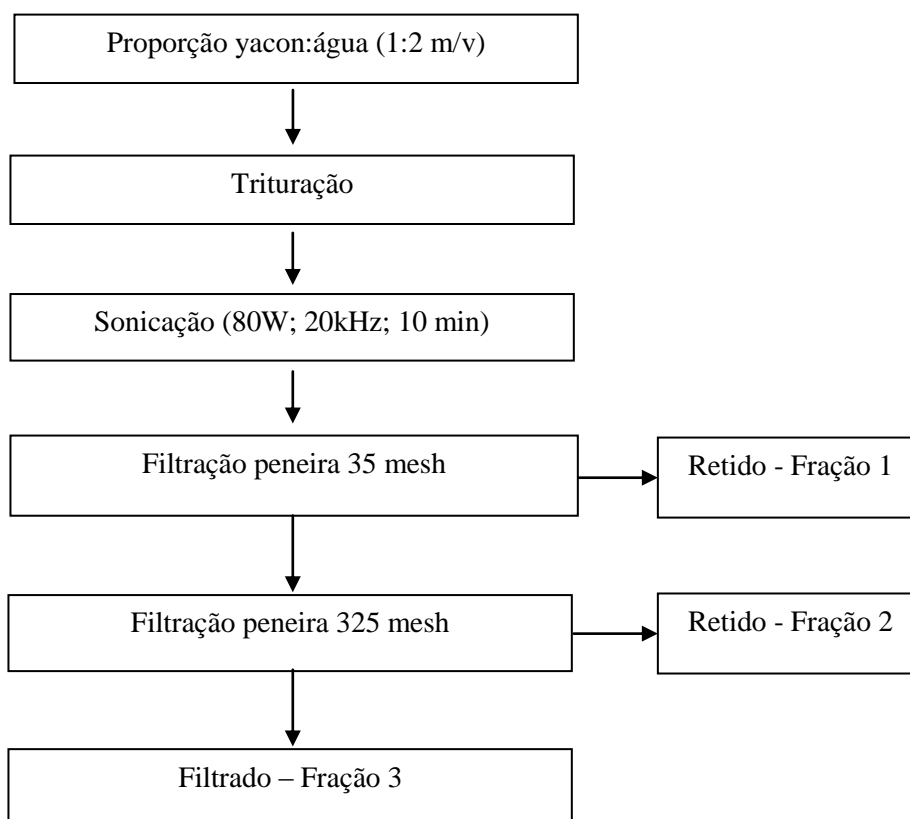


Figura 2. Processo de separação dos frutanos do yacon com uso de ultrassom e processos de filtração.

2.3. Métodos de extração dos frutanos de yacon

Para extrair os frutanos (FOS e inulina) armazenados no interior de vacúolos celulares do yacon, foi preparada uma suspensão de yacon na proporção 2:1 (m/v), seguindo os passos adotados no item 2.1.

Na sequência, a suspensão foi dividida em 3 partes: uma foi submetida ao aquecimento a 95 °C/15 min; outra foi sonicada em um Sonics Vibra Cell (Modelo VCX – 500), com 500 W de potência, 20 % de amplitude, 20 kHz de frequência e temperatura ambiente (20 ± 0,5 °C), por 10 minutos; e a terceira não recebeu nenhum processo subsequente (controle).

As condições experimentais para a extração do conteúdo de FOS e inulina do yacon com uso de ultrassom foram baseadas nos procedimentos realizados por Lou et al. (2009); Chen et al. (2011); Milani, Koocheki e Golimovahhed (2011) e Benito-Róman, Alonso e Cocero (2013).

2.4. Determinação de açúcares redutores das frações de yacon

A quantificação de açúcares redutores foi feita utilizando o método DNS (3,5-dinitrosalicílico), descrito por Miller (1959). Um mililitro de cada fração de yacon

submetido aos processos de separação foi colocado em um tubo e acrescido de 2 mL de reagente DNS e agitado vigorosamente. Em seguida, o tubo foi levado para banho-maria com água em ebulição (100 °C) por 5 minutos. A reação foi interrompida imergindo o tubo em banho de água fria. A absorbância do composto formado foi lida a 540 nm em espectrofotômetro.

A curva analítica de glicose, em concentrações variando de 0 a 1 µg/mL, foi elaborada para expressar os resultados em microgramas de equivalentes de glicose.

2.5. Quantificação dos carboidratos solúveis totais de yacon

As determinações de FOS, inulina e dos carboidratos simples glicose, frutose e sacarose foram realizadas conforme metodologia de Kaneko, Kudo e Horikoshi (1990) por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) em fase reversa com coluna HPX 87P marca BIO-RAD (fase estacionária de chumbo), usando água Milli-Q como fase móvel. As amostras foram diluídas (1 g da amostra em 100 mL de água destilada), centrifugadas a 16.128 x g, e depois, filtradas em membrana de decafluoreto de polivinil (PVDF) da Millipore com 0,22 µ de porosidade e 13 mm de diâmetro. Em seguida, as amostras foram injetadas no cromatógrafo líquido marca Várian, modelo Pró-Star 410 com detector de índice de refração e injetor automático (Auto sampler 410), com fluxo de 0,6 mL/minuto e temperatura da coluna 85 °C, projetando uma sequência de picos que formaram uma curva de calibração para posterior quantificação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Métodos de separação dos frutanos do yacon

3.1.1. Métodos de separação a quente

Os métodos de separação a quente, tanto a 75 °C quanto a 95 °C, não permitiram uma boa divisão de fases após o congelamento/descongelamento das amostras, independente da relação água:yacon e da temperatura de congelamento. Isso também ocorreu com as amostras adicionadas de acetona, tornando esses processos inviáveis na separação dos frutanos do yacon, como pode ser observado em algumas fotos apresentadas na Figura 3.

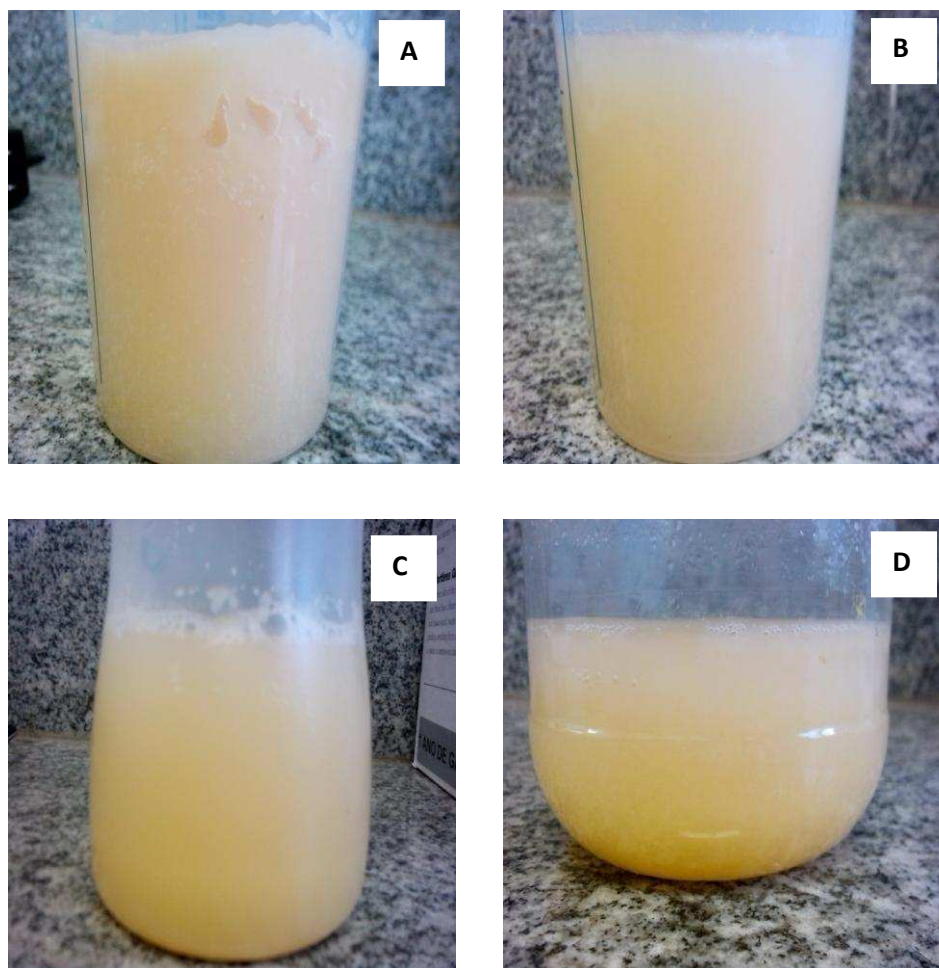


Figura 3. Amostras das suspensões de yacon submetidas ao processo de aquecimento/congelamento para separação de FOS e inulina.

A: amostra sem filtração e submetida a 75°C/1 h; **B:** amostra sem filtração e submetida a 95°C/15 min; **C:** amostra adicionada de acetona, filtrada e submetida a 95°C/15 min; **D:** amostra adicionada de etanol, filtrada e submetida a 95°C/15 min.

Contudo, ao acrescentar etanol na amostra após o aquecimento de 95 °C por 15 minutos, filtrada e depois congelamento a -18 °C por 24 horas, foi possível observar o início de uma divisão de fases, apesar de muito fraca, permitindo a obtenção de 2 frações do filtrado.

O retido do yacon provavelmente reteve maior concentração de fibras insolúveis, permitindo assim a passagem dos frutanos (FOS e inulina) juntamente com os carboidratos simples pela peneira. Desta forma, para verificar de forma rápida e mais acessível se houve a separação entre as fibras solúveis e os carboidratos simples no filtrado, a quantidade de frutose e glicose em cada fase da amostra acrescida de etanol foi determinada por meio da análise de açúcares redutores.

A curva analítica de glicose elaborada para expressar os resultados em equivalentes de glicose, permitiu o ajuste da equação linear $Abs = 0,6333G - 0,0338$ com $R^2 = 0,9964$, em que 'Abs' refere-se à absorbância da amostra na equação da curva de calibração da glicose e 'G' representa a quantidade de açúcares redutores presente em 100 g de amostra.

Os resultados obtidos não demonstraram grande diferença na quantidade de açúcares redutores entre o sobrenadante (0,563 g) e precipitado (0,661 g) das amostras. Isto sugere que a adição de etanol no processo, de acordo com as condições adotadas, não foi suficiente para promover uma adequada separação entre os açúcares simples e fibras solúveis.

A precipitação em solução álcool-água constitui um método comum para separação de oligossacarídeos de peso molecular (PM) elevado de outros homólogos de PM mais baixo. Os açúcares simples são solúveis em alcoóis como o etanol, mas conforme aumenta o peso molecular, a solubilidade reduz. Sendo assim, após o descongelamento das amostras, esperava-se que os açúcares redutores estivessem mais concentrados no sobrenadante, já que o etanol possui densidade menor que a água, $0,789 \text{ g.cm}^3$ e próximo de 1 g.cm^3 , respectivamente (OETTERER; SARMENTO, 2006). No entanto, as fibras solúveis do yacon possuem cadeias com grau de polimerização que variam de GF_2 a GF_9 (G-glicose, F-frutose), proporcionando um baixo PM para estes componentes (OHYAMA et al., 1990). Logo, provavelmente o peso das cadeias de FOS e inulina do yacon não diferiram muito das moléculas de glicose, frutose e sacarose, inviabilizando a separação por este método.

3.1.2. Método de separação após sonicação

Após 10 minutos de sonicação da suspensão de yacon, foi realizada a separação das frações por meio do uso de peneiras com mesh diferentes. A Figura 4 ilustra as frações obtidas após separação do yacon sonicado.

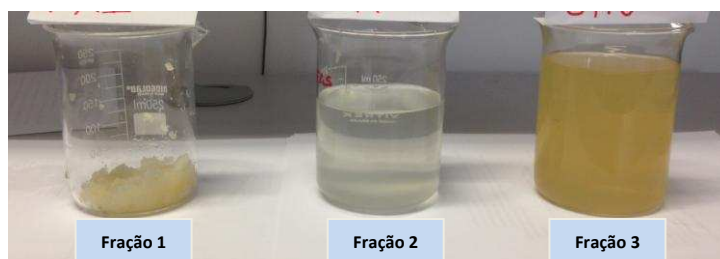


Figura 4. Frações obtidas após separação por peneiras de diferentes mesh do yacon sonicado. Fração 1: retido após separação em peneira de 35 mesh; Fração 2: retido após

separação em peneira de 325 mesh; Fração 3: filtrado após passagem por peneira de 325 mesh.

Feita a separação, foi quantificado o teor de frutose, glicose, sacarose, FOS e inulina em cada fração, a fim de verificar a eficiência da sonicação e posterior separação por meio de peneiras. Os resultados estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição dos carboidratos solúveis das frações de yacon obtidas após sonicação e separação.

	Frutose	Glicose	Sacarose	FOS	Inulina	Total¹
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Fração 1	1,03	0,43	0,55	2,17	0,34	4,52
Fração 2	0,80	0,43	0,50	2,33	0,34	4,40
Fração 3	1,27	0,55	0,50	2,21	0,48	5,01
Total² (%)	3,10	1,41	1,55	6,71	1,16	13,93

Total¹ (%): Total de carboidratos em cada fração da suspensão de yacon.

Total² (%): Total de cada carboidrato na suspensão de yacon.

O somatório total de carboidratos encontrado nas frações sonicadas foi de 13,93 %, corroborando dados encontrados na literatura mencionando que as raízes de yacon têm em sua composição, como principais substâncias, água e carboidratos, sendo em torno de 90 % de água em relação ao peso fresco, e de 10 a 14 % de matéria seca, especialmente carboidratos (GRAEFE et al., 2004; MANRIQUE; PÁRRAGA; HERMANN, 2005; VASCONCELOS et al., 2010).

No estudo de Ohyama et al. (1990), quase 80 % da matéria seca do yacon era constituída de carboidratos, com 26 % de fibras solúveis com grau de polimerização (GP) variando de GF₂ a GF₉, sendo que a concentração desses reduziu com o aumento de GP. Vasconcelos et al. (2010) encontrou aproximadamente 95 % de carboidratos em base seca, contendo 23,7 % de fibras solúveis (12,6 % de FOS e 8,65 % de inulina). Marangoni (2007) e Ribeiro (2008) obtiveram em seus estudos uma concentração de 19,12 % e 10,50 % de fibra alimentar (base seca) para polpa da raiz, respectivamente. Todos esses valores e outros encontrados na literatura foram bem inferiores ao encontrado nesse trabalho, em que foi obtido um total de 56,5 % de fibras solúveis. Esse resultado pode sugerir duas possibilidades: uma influência positiva na extração das fibras solúveis após a utilização do ultrassom, considerando o aumento da quantidade de FOS ou a hidrólise de parte das fibras solúveis devido à aplicação do ultrassom, levando

a quebra das cadeias maiores e, conseqüentemente, aumento na concentração de cadeias de FOS e inulina com menor grau de polimerização.

Por outro lado, nota-se que o método de separação dos carboidratos não foi eficiente, visto que a quantidade de carboidratos das 3 frações foram bem semelhantes. Desta forma, outros métodos de separação devem ser estudados a fim de permitir a obtenção de 3 frações, uma de fibras insolúveis, outra de fibras solúveis e uma terceira contendo os mono e dissacarídeos.

3.2. Métodos de extração dos frutanos do yacon

Para verificar o efeito dos métodos de extração dos FOS e inulina na suspensão de yacon, as concentrações de cada carboidrato foram verificadas e os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição dos carboidratos solúveis em 100 mL da suspensão de yacon, submetidas ou não aos processos de extração de FOS e inulina.

Amostra	Frutose (g)	Glicose (g)	Sacarose (g)	Oligofrutanos (g)	Inulina (g)	FOS (g)	Total¹ (g)
Controle	0,71	0,33	0,79	1,33	0,41	0,005	3,575
90°C/15 min	2,07	1,02	1,56	0,70	0,12	0,009	5,479
Ultrassom	0,94	0,49	0,60	0,41	0,56	---	3,000
Total² (g)	3,72	1,84	2,95	2,44	1,09	0,014	12,054

Total¹ (%): Total de carboidratos em cada fração da suspensão de yacon.

Total² (%): Total de cada carboidrato na suspensão de yacon.

Em comparação à amostra que foi apenas triturada (controle), observa-se um aumento da concentração total de carboidratos na amostra submetida ao aquecimento (5,479 %) e redução na amostra sonicada (3 %).

A solubilidade de mono e dissacarídeos em água aumenta com a temperatura, bem com a solubilidade de FOS e inulina (OETTERER, SARMENTO 2006; TONELI et al., 2008), no entanto, a amostra submetida ao aquecimento aumentou consideravelmente o teor de frutose, glicose e sacarose e reduziu a concentração das fibras solúveis. A hidrólise parcial da inulina produz um conjunto de oligossacarídeos, dentre eles os inulo-oligossacarídeos (IOS), FOS e oligofrutanos, enquanto que a hidrólise completa resulta na formação de glicose e frutose (ROBERFROID, 1993).

Diante do comportamento observado, sugere-se que o aquecimento a 95°C por 15 minutos pode ter levado à hidrólise parcial e principalmente, completa das cadeias de inulina e dos oligossacarídeos também obtidos, contradizendo alguns achados na literatura, que indicam alta estabilidade das cadeias dessas fibras solúveis, sendo capazes de resistir a processos térmicos, como a pasteurização, e suportar temperaturas acima de 140 °C (VAN LOO et al., 1999; MOURA, 2004).

Por outro lado, a aplicação do ultrassom na suspensão de yacon também aumentou a concentração de frutose e glicose, mas em menor proporção que a suspensão aquecida, e reduziu especialmente os oligofrutanos. Contudo, além dessas mudanças, um fato que chamou a atenção refere-se à redução no teor total de carboidratos. Considerando que haja hidrólise das fibras devido às ondas geradas pelo ultrassom, então era esperado que o teor de mono e dissacarídeos aumentasse a quantidade de carboidratos totais, assim como aconteceu com a suspensão aquecida. No entanto, isto não foi observado, permitindo inferir que possivelmente os valores de potência, amplitude e frequência adotados neste experimento, levaram além da hidrólise das fibras, à destruição de algumas moléculas reduzindo a quantidade de carboidratos totais.

Quando líquidos são sonicadas em intensidades elevadas, as ondas sonoras se propagam internamente criando ciclos alternados de alta pressão (compressão) e baixa pressão (rarefação). Estes ciclos contínuos de alta e baixa pressão geram pequenas bolhas ou vazios no líquido que colapsam violentamente quando já não podem mais absorver energia (fenômeno denominado "cavitação"), produzindo intenso aquecimento local, altas pressões, correntes de jato líquido e taxas de resfriamento e aquecimento drásticos. A cavitação produz forças de cisalhamento intenso e mudanças nas propriedades físicas que permitem ao solvente penetrar mais profundamente no sólido, aumentando a taxa de difusão da molécula desejada para o solvente (WANG et al., 2008). Por essas razões, a sonicação é vantajosa para processos de extração relacionados à melhoria de transferência de massa e rompimento celular (IIDA et al., 2008; RODRÍGUEZ-ROJO et al., 2012), contudo, o desempenho da extração depende da quantidade de energia fornecida. Em geral, tratamentos de ultrassom com alta intensidade podem causar a despolimerização do polímero extraído, o que contribui para a produção de soluções homogêneas e de baixo peso molecular (YANG et al., 2008).

No estudo de Lou et al. (2009) com raízes de bardana, também foi observada a redução na extração de inulina por meio de ultrassom/microondas após 60 segundos, justificado pela degradação de algumas frações da inulina devido à ação intensa combinada do ultrassom e de microondas. De acordo com os relatos de Ishimaru et al.

(2004) e Wei et al. (2007), uma parte das frações de inulina podem ser facilmente degradáveis. Koda, Taguchi, e Futamura (2011), estudaram o efeito do ultrassom na extração de metil-celulose, pululana e dextrano, concluindo que os efeitos mecânicos produzidos pela sonicação foram os responsáveis pela quebra dos polímeros.

4. CONCLUSÕES

Os métodos tradicionais de separação dos FOS e inulina do yacon, bem como a separação por meio do uso de peneiras de diferentes mesh, após a sonicação, mostraram resultados insatisfatórios devido ao reduzido tamanho de suas cadeias, o que dificulta esse processo, sendo, portanto necessária a aplicação de métodos alternativos que levem em consideração essa diferença reduzida no tamanho e peso dos carboidratos totais do yacon.

Em relação à extração dos FOS e inulina utilizando o método convencional, essas fibras parecem não ter sido muito resistentes ao tempo e temperatura ao qual foram submetidos, visto que a hidrólise parcial e total foi intensa, aumentando consideravelmente a quantidade de carboidratos simples (frutose, glicose e sacarose).

A aplicação do ultrassom demonstrou ser interessante, devido à praticidade, curto tempo de aplicação e reduzido consumo de energia, otimizando o processo de extração, contudo, as condições aplicadas nesse estudo parece ter sido bastante severas, permitindo a hidrólise e até mesmo, destruição de alguns componentes da raiz. Sendo assim, valores de potência, amplitude e frequência mais brandos devem ser avaliados, a fim de permitir um ótimo desempenho e rendimento de extração das fibras solúveis do yacon.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CRISTAL SUGAR COMPANY. To move a product through the market with regularity, you need the right kind of fiber. **Technical Bulletin**, MN, USA, 1991.

ANON. Dietary Fiber Guide. **Cereal Food World**. v. 32, p. 555-565, 1987.

ARCHER DANIELS MIDLAN CO. The ADM Ready Reference. Fiber Guide. **Technical Bulletin**, Decatur, USA, 1992.

ASAMI, T.; MINAMISAWA, K.; TSUCHUJA, K; KANO, I.;HORI, T.; OHYAMA, M.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T. Fluctuations of oligofructan contents in tuber of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. **Japanase Society of soil Science Plant Nutrition**, v. 62, p. 621-627, 1991.

- BENITO-ROMÁN, Ó.; ALONSO, E.; COCERO, M.J. Ultrasound-assisted extraction of b-glucans from barley. *LWT - Food Science and Technology*. v. 50, p. 57-63, 2013.
- BODNER, J.M.; SIEG, J. Fiber. In R. Tarté (Ed.), **Ingredients in meat products**. New York: Springer, 2009, p. 83–109.
- CHEN, S.; JIANG, L.; LI, Y.; SUI, X. Ultrasound-assisted enzymatic extraction of dietary fiber from pods. **Procedia Engineering**. v. 15, p. 5056 – 5061, 2011.
- ELLEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O.; BESBES, S.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterization, technological functionality and commercial applications: A review. **Food Chemistry**. v. 124, p. 411–421, 2011.
- GRAEFE, S.; HERMANN, M.; MANRIQUE, I.; GOLOMBEK, S.; BUERKERT, A. Effects of postharvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v. 86, n. 2-3, p. 157– 165, 2004.
- IIDA, Y., TUZIUTI, T., YASUI, K., TOWATA, A., KOZUKA, T. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 9, p.140-146, 2008.
- ISHIMARU, M., KAGOROKU, K., CHACHIN, K., IMAHORI, Y., UEDA, Y. Effects of the storage conditions of burdock (*Arctium lappa* L) root on the quality of heatprocessed burdock sticks. **Scientia Horticulturae**. v. 101, n. 1–2, p. 1–10, 2004.
- IZZO, M.; FRANCK, A. Nutritional and health benefits of inulin and oligofructose conference. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, n. 6, p. 255–257, 1998.
- KANEKO, T.; KUDO, T.; HORIKOSHI, K. Comparison of CD composition produced by chimeric CGTases. **Agricultural Biology Chemistry**. v. 54, n. 1, p. 197-201, 1990.
- KODA, S.; TAGUCHI, K.; FUTAMURA, K. Effects of frequency and a radical scavenger on ultrasonic degradation of water-soluble polymers. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 18, p. 276-281, 2011.
- LEITE, J.T.C.; MARTINELLI, P.; MURR, F.E.X.; PARK, K.J. Study of the inulin concentration by physical methods. In: International Drying Symposium. **Proceedings of the 14th International Drying Symposium**. São Paulo, v. B, p. 868-875, 2004.
- LI, H.; PORDESIMO, L.; WEISS, J. High intensity ultrasoundassisted extraction of oil from soybeans. **Food Research International**. v. 37, p. 731–738, 2004.
- LOU, Z.; WANG, H.; WANG, D.; ZHANG, Y. Preparation of inulin and phenols-rich dietary fibre powder from burdock root. **Carbohydrate Polymers**. v. 78, p. 666–671, 2009.
- MANRIQUE, I.; PÁRRAGA, A.; HERMANN, M. **Yacon syrup: Principles and processing. Series: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)**. n. 8B. International Potato Center, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Erbacher Foundation, Swiss Agency for Development and Cooperation. Lima; 2005.

MARANGONI, A.L. **Potencialidade de aplicação da farinha de yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos a base de cereais**. Dissertação de Mestrado, São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, 2007.

MASON, T.J.; PANIWNKYK, L.; LORIMER, J.P. The uses of ultrasound in food technology. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 3, p. S253–S260, 1996.

MATTOS, L.L.; MARTINS, I.S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p. 50-55, 2000.

MENEZES, E.W.; GIUNTINI, E.B. Fibras alimentares. In: Philippi ST. **Pirâmide dos alimentos: fundamentos básicos da nutrição**. Barueri: Manole; 2008. p. 341-362

MILANI, E.; KOOCHEKI, A.; GOLIMOVAAHED, Q.A. Extraction of inulin from Burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 46, p. 1699–1704, 2011.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**. v. 11, p. 426-428, 1959.

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.

NAIR, K. K., KHARB, S.; THOMPSON, D.K. Inulin dietary fiber with functional and health attributes. A review. **Food Reviews International**. v. 26, n. 2, p. 189–203, 2010.

OETTERER, M.; SARMENTO, S.B.S. Propriedades dos açúcares. In: Oetterer, M.; Regitano d'Arce, M.A.; Spoto, M.H.F.. (Org.). **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 1 ed. Barueri, SP: Manole, v. 1, p. 135-195, 2006.

OHYAMA T.; ITO, O.; YASUYOSHI, S.; IHARASHI, T.; MINAMIZAWA, K.; KUBOTA, M.; TSUKIHASHI, T.; ASAMI, T. Composition of storage carbohydrate in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Soil Science & Plant Nutrition**. v. 36, n. 1, p. 167-171, 1990.

PARK, K.J.; BROD, F.P.R.; PARK, T.H.K.B.; PARK, K.J.B.; NOGUEIRA, R.I.; CORNEJO, F.E.P.; CABRAL, L.M.C.; COURI, S.M.V.M. **Processo de obtenção de inulina e seus subprodutos a partir de tubérculos**. BR n. PI 0301192-5 (Patente Requerida), 2003.

PARK, K.J.; PARK, T.H.K.B.; PARK, K.J.B.; NOGUEIRA, R.I.; LEITE, J.T.C. **Processo de obtenção de concentrado de inulina por abaixamento de temperatura e separação física**. BR Patente número 0003867-9, 2000.

PÉREZ, M.F.; SÁNCHEZ, J.L.R. Tecnología para la obtención de fibra dietética a partir de materias primas regionales: la experiencia em Cuba. In: LAJOLO, F.M.; SAURA CALIXTO, F.; PENNA, E.W.; MENEZES, E.W. **Fibra dietética em iberoamérica: tecnología y salud: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. cap.15, p.211-236.

RIBEIRO, J.A. **Estudo químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influencia do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídios fecais de ratos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, 2008.

ROBERFROID, M.B. Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. **CRC-Critical Reviews Food Science and Nutrition**, Bruxelas, v. 33, n. 2, p. 103-148, 1993.

RODRÍGUEZ-ROJO, S.; VISENTIN, A.; MAESTRI, D.; COCERO, M.J. Assisted extraction of rosemary antioxidants with green solvents. **Journal of Food Engineering**. v. 109, n. 1, p. 98-103, 2012.

SABATER-MOLINA, M.; LARQUE, E.; TORRELLA, F.; ZAMORA, S. Dietary fructooligosaccharides and potential benefits on health. (Review). **Journal of Physiology and Biochemistry**. v. 65, n. 3, p. 315–328, 2009.

TASTEE APPLE INC. Apple Fiber. **Technical Bulletin**, OH, USA, 1991.

TONELI, J.T.C.L.; PARK, K.J.; MURR, F.E.X.; NEGREIROS, A.A. Efeito da umidade sobre a microestrutura da inulina em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 28, n. 1, p. 122-131, 2008.

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.

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 em raiz e farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) pelo método enzimático e cromatografia líquida de alta eficiência. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 188-193, 2010.

VINATORU, M. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 8, p. 303–313, 2001.

WANG, J.; SUN, B.; CAO, Y.; TIAN, Y.; LI, X. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran. **Food Chemistry**. v. 106, p. 804-810, 2008.

WANG, Y.; ZHANG, J. A novel hybrid process, enhanced by ultrasonication, for xylan extraction from corncobs and hydrolysis of xylan to xylose by xylanase. **Journal of Food Engineering**. v. 77, p. 140–145, 2006.

WEI, L.; WANG, J.; ZHENG, X.; TENG, D.; YANG, Y.; CAI, C.; FENG, T.; ZHANG, F. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. **Journal of Food Engineering**. v. 79, p. 1087–1093, 2007.

WOODSTONE FOOD LIMITED. Anything You Make, We Can Help Make Better. **Technical Bulletin**, MB, Canada, 1991.

YAGINUMA, S.R. **Extração e purificação parcial de inulina a partir de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) por adsorção em resinas de troca iônica.** Dissertação de

Mestrado em Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007, 76p.

YANG, B.; JIANG, Y.; ZHAO, M.; SHI, J.; WANG, L. Effects of ultrasonic extraction on the physical and chemical properties of polysaccharides from longan fruit pericarp. **Polymer Degradation and Stability**. v. 93, p. 268-272, 2008.

YI, H.; ZHANG, L.; HUA, C.; SUN, K.; ZHANG, L. Extraction and enzymatic hydrolysis of inulin from Jerusalem artichoke and their effects on textural and sensorial characteristics of yogurt. **Food and Bioprocess Technology**. v. 3, n. 2, p. 315–319, 2010.

ZHONG, K.; WANG, Q. Optimization of ultrasonic extraction of polysaccharides from dried longan pulp using response surface methodology. **Carbohydrate Polymers**. v. 80, p. 19–25, 2010.

CAPÍTULO 4

EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO DE GLICOSE, FRUTOSE E SACAROSE POR RESINAS DE TROCA CATIÔNICA

RESUMO

Frutose, glicose e sacarose são açúcares de alto valor agregado quando comercializados individualmente. A adsorção seletiva de biocompostos usando resinas de troca iônica é uma operação unitária aplicada à separação desses carboidratos. No entanto, é necessário conhecer as condições termodinâmicas que regem a adsorção para a escolha da resina mais apropriada à separação desejada. Os dados das isotermas de adsorção são de interesse primário para caracterização das resinas, levando em consideração suas diferenças estruturais. Assim, o objetivo do presente trabalho foi investigar a influência do tamanho médio das partículas, grau de reticulação, tipo de cátion ligado na capacidade de cinco resinas catiônicas em adsorver os açúcares frutose, glicose e sacarose, em soluções monocomponentes, em sistema de batelada, à 30 °C. As concentrações das soluções aquosas dos açúcares testados variaram entre 10 e 100 g/L. As resinas Diaion® empregadas como adsorvente foram a UBK 530 e UBK 550 contendo sódio no grupo funcionalizante; a UBK 555, UBK 535 e UBK 535L com cálcio como grupo iônico. A relação volumétrica sólido-líquido nas suspensões foi de 1:1. Modelos de regressão linear ajustados aos dados experimentais apresentaram valores do coeficiente de determinação: (i) de $R^2 > 0,96$, para as soluções de frutose e de glicose, exceto para a resina UBK 535; e (ii) de $R^2 > 0,94$, para a solução de sacarose com as resinas UBK 530, 550 e 535L. Os maiores valores do coeficiente de distribuição (k) foram obtidos: (1) para a frutose com as resinas contendo cálcio em sua composição (UBK 535L e 555); e (2) para a glicose e a sacarose com as resinas contendo o sódio (UBK 530 e 550). A sacarose foi o carboidrato que exibiu os menores valores de k. Esses dados poderão ser usados para estudos de adsorção dos açúcares em sistemas de batelada.

1. INTRODUÇÃO

O projeto das operações unitárias adsorativas em escala industrial, incluindo a seleção dos adsorventes, necessita do conhecimento sobre o equilíbrio de adsorção dos componentes envolvidos. A escolha de um adsorvente deve ser orientada em função da finalidade a que se destina (Brites, 2005), pois será ele o material capaz de reter e acumular constituintes compatíveis.

O termo resina adsorvente, ou simplesmente resina, refere-se a uma estrutura complexa formada por unidades monoméricas ligadas em uma estrutura semelhante a uma rede. Os feixes destas redes são interligados transversalmente por meio de monômero funcional formando uma esfera (bead) de tamanho padronizado (Marquardt; Lima, 2001), como visto na Figura 1.

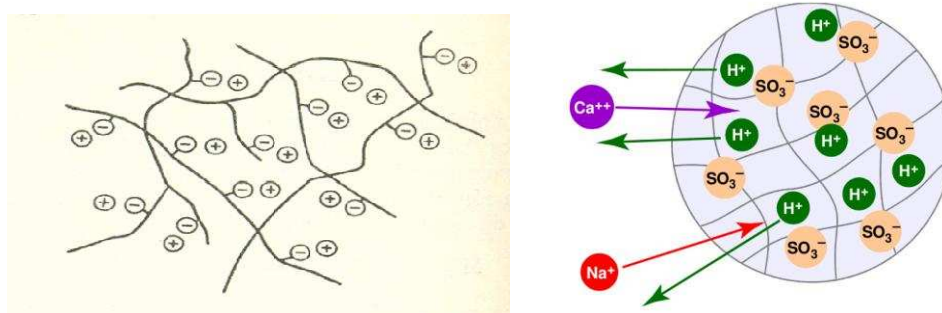


Figura 1. Estrutura de uma resina adsorvente.

A separação de carboidratos na indústria pode ser conseguida por meio da utilização de diversas resinas de troca iônica, devido à sua boa capacidade de adsorção, seletividade (Morel-Desrosiers; Morel, 1989) não toxicidade, baixo custo, estabilidade mecânica, química e biológica, que prolongam o tempo de vida (Vaňková, Gramblička, Polakovič, 2010). Estudos de separação de carboidratos relatados na literatura utilizam resinas constituídas por polímeros sulfonados, normalmente um copolímero de divinilbenzeno e estireno (DVB) (Vente et al., 2005; Gramblička; Polakovič, 2007; Heikkilä, et al., 2008; Saari, et al., 2009; Saari et al., 2010)

De acordo com sua estrutura, as resinas são classificadas em dois grandes grupos: tipo gel e macroporosa. As resinas do tipo gel são translúcidas, tem uma superfície lisa e uniforme e possuem baixo grau de reticulação (teor de DVB é inferior a 12 %), resultando em alta capacidade de retenção de água e rápida cinética de difusão. Resinas macroporosas são caracterizadas por uma estrutura porosa bem desenvolvida e

permanente, opaca e com teor de DVB maior que 20 % (Sherrington, 1998; Abrams, Millar, 1997).

Dentre os cátions ligados aos grupos sulfonados das resinas de troca catiônica, estão o Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e K^+ (Takahashi, Goto, 1994; Adachi, Watanabe, Kohashi, 1989), especialmente os dois primeiros. O cátion ligado e o grau de reticulação (teor de DVB) conferem as características mais importantes das resinas, influenciando a eficiência de separação dos carboidratos. Resinas com maior grau de reticulação tem menor capacidade de adsorção, porém maior seletividade e estabilidade (Adachi, Watanabe, Kohashi, 1989). Vente et al. (2005) verificaram que o grau de reticulação tem maior efeito sobre as características de adsorção do que o tipo de cátion ligado.

A eficiência de diferentes tipos de resinas de adsorção na separação de carboidratos em variadas condições experimentais foi avaliada em função da estrutura da resina, tipo de cátion presente, tamanho de partículas e temperaturas de operação por diversos autores (Gramblička; Polakovič, 2007; Luz et al., 2008; Nobre et al., 2009; Saari et al., 2010; Vaňkova et al., 2010; Mostafazadeh et al., 2011). Este tipo de estudo permite avaliar as isotermas de adsorção e selecionar o adsorvente mais adequado a ser utilizado na separação dos açúcares presentes em uma mistura, uma vez que descrevem a distribuição de equilíbrio de soluto entre o adsorvente e a fase líquida (Schulte, 2005). Assim, a avaliação das isotermas de adsorção representa o primeiro passo para garantir e ampliar as aplicações industriais (Nobre et al., 2009).

Diante da importância em se estudar as isotermas de adsorção das resinas levando em consideração suas diferenças estruturais, o objetivo do presente trabalho foi investigar a influência do tamanho médio das partículas, grau de reticulação, tipo de cátion ligado e capacidade total de troca de cinco resinas catiônicas em adsorver os açúcares frutose, glicose e sacarose, em soluções monocomponentes, em sistema de batelada, para que possam ser utilizados em experimentos futuros auxiliando a separação entre os açúcares simples e as fibras solúveis do yacon.

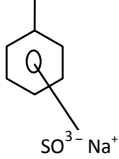
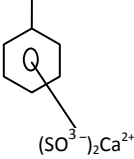
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os adsorventes utilizados da Diaion®, cedidos pela Mitsubishi Chemical Corporation (Tóquio, Japão), foram: UBK 530, UBK 550, UBK 555, UBK 535, UBK 535L. Todas são resinas do tipo gel de troca catiônica fortemente ácidas, em forma de pérolas, contendo uma matriz polimérica a base de estireno e divinilbenzeno (DVB),

funcionalizados com grupos $-(SO^3^-)_xMe^{x+}$. Algumas características das resinas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das resinas de troca iônica

Resina	UBK 530	UBK 550	UBK 535	UBK 535L	UBK 555
Estrutura química	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$  $SO^3^- Na^+$		$-\text{CH}_2-\text{CH}-$  $(SO^3^-)_2 Ca^{+2}$		
Forma iônica	Na^+		Ca^{+2}		
Tamanho médio da partícula (μm)	220 (200 – 240)	220 (200 – 240)	220 (190 – 240)	320 (300 – 360)	220 (190 – 240)
Capacidade de troca total (meq/ml-R) ¹	1,6	1,9	1,6	1,7	2,0
Etenilbenzeno e eteniletilbenzeno (%)	30-60	30-70	30-60	30-70	30-70
Grau de reticulação (%)	6	8	6	6	8
Conteúdo de água (%), segundo fornecedor	52 a 56	46 a 50	48 a 52	48 a 52	42 a 46
Conteúdo de água (%), experimental	48,8	54,5	54,0	55,7	55,5
Temperatura máxima de operação	120 °C				

¹Potencial da resina em reter íons na troca iônica, ou seja, o número de íons retidos equivalentes em certo volume de resina

*Dados fornecidos pelo fabricante.

Frutose, glicose e sacarose de grau analítico (Vetec Química) e água deionizada foram utilizados para preparar as soluções.

As resinas inicialmente foram lavadas 3 vezes com água deionizada em um béquer e a água extrapartícula foi removida com auxílio de papel filtro Whatman.

O conteúdo de água das partículas úmidas foi determinado por secagem em estufa com ventilação forçada (Nova Ética 400ND/300°C, Brasil) a 60 °C até apresentar peso constante, de acordo com a recomendação do fornecedor.

2.2 Cinética de adsorção

Para determinação da curva de cinética de adsorção, a concentração dos carboidratos nas soluções individuais foi de 50 g·L⁻¹ e a relação volumétrica sólido-líquido nas suspensões de 1:1 (g·mL⁻¹). A suspensão foi mantida sob agitação à temperatura controlada de 30 °C (Banho metabólico com agitação recíprocante, Dubnoff MA 098 Marconi[®], Brasil).

Em intervalos de tempo definidos, pequenas amostras das soluções dos carboidratos foram coletadas para determinação do teor de sólidos solúveis (°Brix) por meio de um refratômetro portátil (Instrutherm[®], Brasil) à temperatura ambiente (20 ± 1 °C), sendo os resultados expressos em °Brix, de acordo com o método 932.12 da AOAC (2000).

A concentração do carboidrato no adsorvente (q(t)), em um instante de tempo t foi calculada pela Equação 1.

$$q(t) = \frac{V(c_0 - c_t)}{m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que V é o volume da fase líquida (L), C₀ é a concentração inicial da solução (g·L⁻¹), C_t é a concentração da solução (g·L⁻¹) em um instante de tempo t (s) e m é a massa do adsorvente seco (g).

2.3 Isotermas de equilíbrio de adsorção

O método de adsorção em batelada foi utilizado para determinar as isotermas de equilíbrio de adsorção. Uma quantidade definida da resina (1 g) foi pesada em um tubo de vidro de 20 mL e acrescida das soluções de monocomponentes (frutose, glicose e sacarose) preparadas em diferentes concentrações iniciais (10 a 100 g·L⁻¹), resultando em um gradiente de concentração dos carboidratos em cada tubo de vidro. A relação volumétrica resina-solução nas suspensões foi de 1:1 (g·mL⁻¹). A concentração de cada solução foi ajustada após 30 minutos sob agitação em banho maria (Banho metabólico com agitação recíprocante, Dubnoff MA 098 Marconi[®], Brasil) a 30 °C. Uma alíquota do sobrenadante (contendo o carboidrato não adsorvido) foi retirada de cada um dos tubos para permitir a leitura das concentrações de equilíbrio na fase fluida das soluções de monocomponentes. A leitura foi realizada em um refratômetro manual, sendo os resultados expressos em °Brix, de acordo com o método 932.12 da AOAC (2000). A concentração do carboidrato no adsorvente, no equilíbrio, foi calculada pela Equação 1.

$$q_{eq} = \frac{V(C_0 - C_{eq})}{m} \quad \text{Equação 2}$$

Em que q_{eq} é a concentração do carboidrato no adsorvente no equilíbrio ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$); V é o volume da solução (L), C_0 é a concentração inicial da solução ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$); C_{eq} é a concentração do carboidrato na fase líquida no equilíbrio ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$); e m é a massa de adsorvente seco (g).

Modelos de equação de regressão foram ajustados aos dados e para as equações lineares tendo um único parâmetro ajustado, o modelo foi representado como (Equação 3):

$$q = K \cdot C \quad \text{Equação 3}$$

Em que q é a concentração do carboidrato no adsorvente no equilíbrio ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), K representa o coeficiente de distribuição e C a concentração final do carboidrato, após 30 minutos.

2.4 Seletividade das resinas

Para avaliar a eficiência de cada resina, submetidas às mesmas condições, na separação dos açúcares a seletividade (α) foi calculada por meio da equação 4:

$$\alpha_{\frac{A}{B}} = \frac{K_A}{K_B} \quad \text{Equação 4}$$

Em que α é o fator de seletividade; subíndice A refere-se ao carboidrato mais adsorvido e B o menos adsorvido; e, K é o coeficiente de distribuição.

2.5 Análise dos dados

Modelos de regressão linear ou quadrático foram utilizados para ajustar os dados experimentais e sua significância foi avaliada por meio da análise de variância à 5% de probabilidade. As análises foram realizadas no programa estatístico SAS (Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., North Carolina, USA, 1989) versão 9.3 licenciado pela Universidade Federal de Viçosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cinéticas de adsorção

Foram verificadas as taxas de adsorção para frutose e glicose, em soluções com concentrações de $50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, nas cinco resinas de troca iônica e os resultados estão ilustrados na Figura 2.

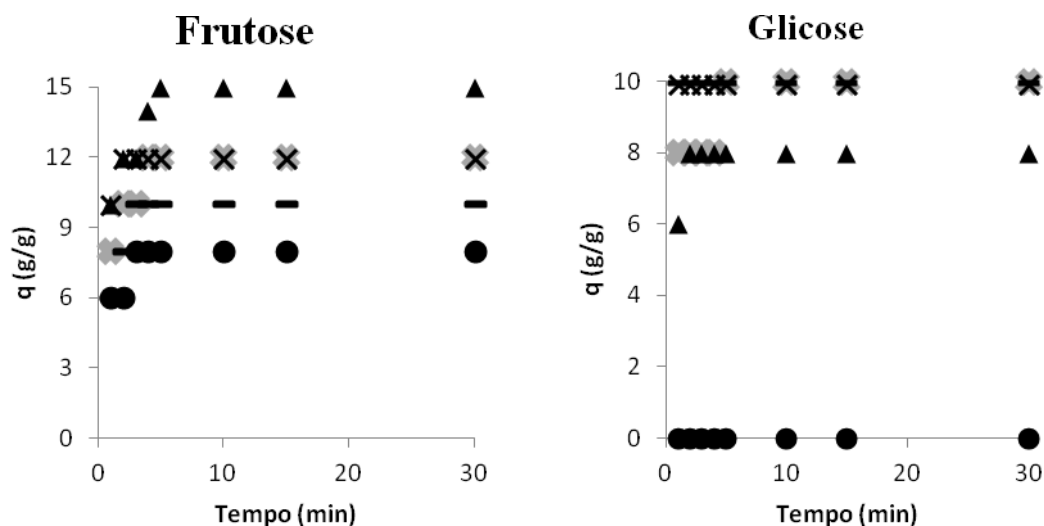


Figura 2. Taxas de adsorção de frutose e glicose das soluções nas 5 resinas de troca iônica a $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

q é a concentração do carboidrato (g) no adsorvente (g)

× UBK 555, × UBK 530, — UBK 550, ▲ UBK 535L, ● UBK 535

A variação experimental das concentrações de frutose e glicose ocorreram praticamente nos primeiros 10 minutos, sendo que algumas soluções alcançaram o equilíbrio imediatamente após o contato com a resina. Embora as alterações nas concentrações destes monossacarídeos tenha alcançado o equilíbrio em poucos minutos, medições continuaram a ser realizadas durante 1, 6, 12 e 24 hs a fim de certificar o estado de equilíbrio das soluções. Apenas a resina UBK 535 não apresentou variação das taxas de adsorção na solução contendo glicose, possivelmente por não haver afinidade entre a glicose e as características apresentadas por esta resina.

O bom contato entre o adsorvente sólido e a fase líquida é crucial para atingir o equilíbrio de adsorção e a agitação em banho maria favorece esse comportamento (Francisco et al., 2011). A rápida capacidade de troca total entre a solução e a resina, ou seja, a quantidade de íons retidos na resina, alcançada em poucos minutos, pode ser favorável na indústria de alimentos, levando à redução do tempo de separação destes

componentes e de regeneração da resina, e, conseqüentemente diminuir os custos de processo.

Diante dos resultados de cinética de adsorção obtidos neste estudo, foi definido o tempo de 30 minutos para serem avaliadas as isotermas, sendo considerado este tempo mais que suficiente para alcançar o equilíbrio das soluções.

3.2 Isotermas de equilíbrio de adsorção

A Figura 3 ilustra as isotermas de adsorção, a 30 °C, para frutose, glicose e sacarose, respectivamente, em soluções com concentrações que variaram de 10 a 100 g·L⁻¹, nas cinco resinas de troca iônica.

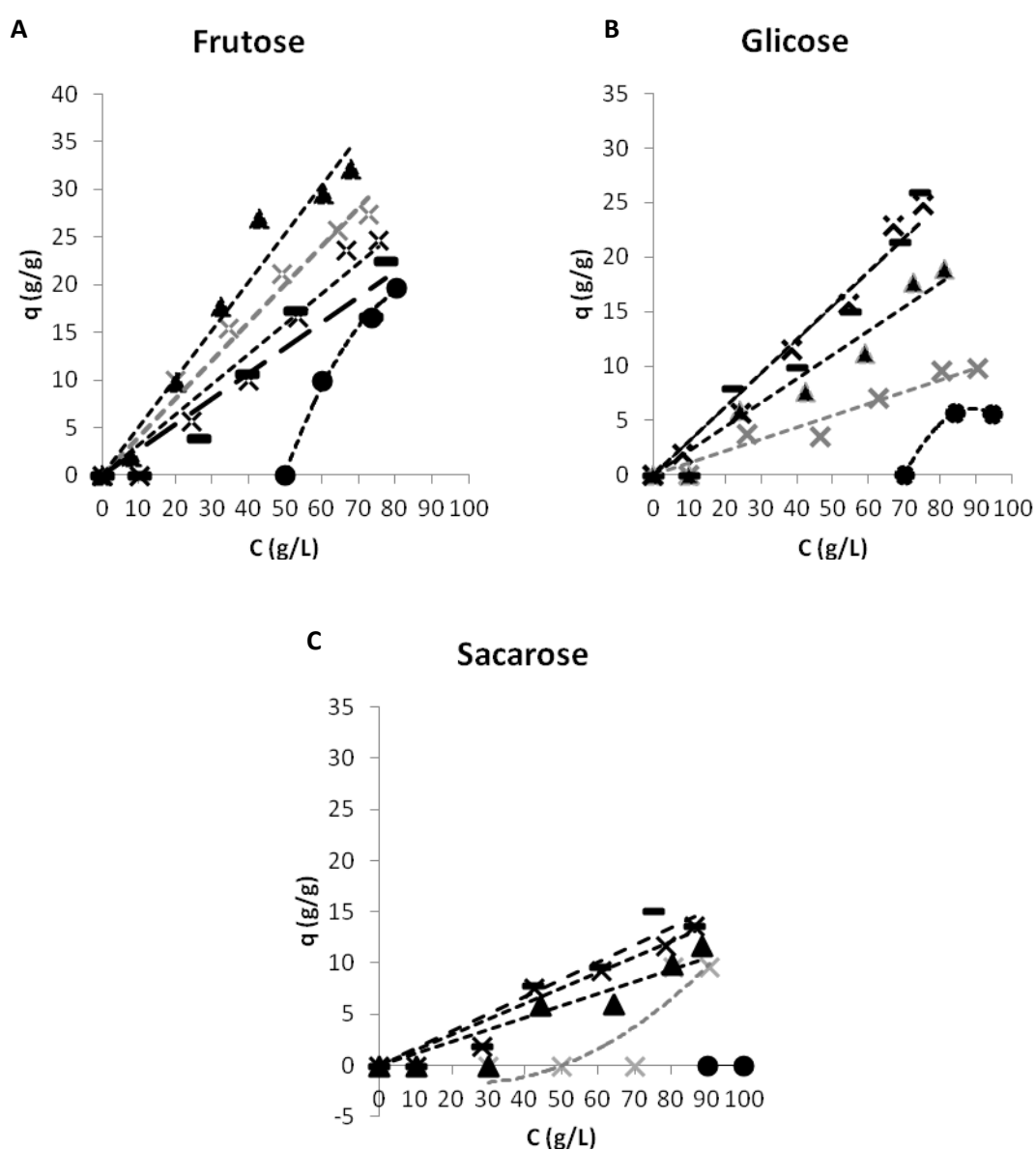


Figura 3. Isotermas de adsorção das soluções de frutose (A), glicose (B) e sacarose (C), a 30 °C. x UBK 555, x UBK 530, — UBK 550, ▲UBK 535L, ● UBK 535

Observa-se uma tendência linear das isotermas para a maioria das concentrações entre a fase sólida e líquida, o que, de acordo com Vente (2005), é muito característico da adsorção de carboidratos em troca iônica. Entretanto, para a resina UBK 535, essa relação foi inexistente nas soluções com baixas concentrações dos carboidratos avaliados. De acordo com Falone e Vieira (2004), quando a adsorção inicial é baixa e aumenta à medida que o número de moléculas adsorvidas aumenta, isto significa que houve uma associação entre moléculas adsorptivas chamadas de adsorção cooperativa.

Os dados experimentais de q ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e C ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) foram ajustados em modelos de regressão para melhor visualizar essa tendência. A Tabela 2 apresenta os dados de adsorção dos componentes únicos de frutose, glicose e sacarose nas cinco resinas de troca iônica a 30 °C, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e nível de probabilidade (p).

Tabela 2. Parâmetros do modelo de isotermas de adsorção dos carboidratos a 30°C.

Solução	Resina UBK	Modelo de regressão	R^2	$p(F)$
Frutose	530	$q = 0,3069C$	0,9867	<0,0001
	550	$q = 0,2660C$	0,9675	<0,0001
	535	$q = 0,0031C^2$	0,8478	0,0012
	535L	$q = 0,4272C$	0,9894	<0,0001
	555	$q = 0,3638C$	0,9908	<0,0001
Glicose	530	$q = 0,3163C$	0,9931	<0,0001
	550	$q = 0,3105C$	0,9799	<0,0001
	535	$q = 0,0099C^2 - 0,6082C$	0,7119	0,0446
	535L	$q = 0,2371C$	0,9810	<0,0001
	555	$q = 0,1291C$	0,9787	<0,0001
Sacarose	530	$q = 0,1541C$	0,9800	<0,0001
	550	$q = 0,1690C$	0,9679	<0,0001
	535L	$q = 0,1219C$	0,9422	<0,0001
	555	$q = 0,0012C^2$	0,7520	0,0053

C = concentração final do carboidrato (frutose, glicose ou sacarose)

Os dados experimentais para as soluções de frutose e glicose correlacionaram bem com a regressão linear, apresentando elevados valores de coeficiente de determinação ($R^2 > 0,96$). A exceção ocorreu em relação à resina UBK 535 que permitiu ajuste de equações quadráticas a partir das concentrações de 50 e 70 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ para frutose e glicose,

respectivamente, visto que em quantidades menores desses carboidratos, a resina não foi capaz de adsorvê-los, demonstrando baixa seletividade em baixas concentrações.

As equações lineares ajustadas para as soluções de sacarose permitiram um bom ajustamento ($R^2 > 0,94$) para as resinas UBK 530, 550 e 535L. Para a resina UBK 555, o ajuste da equação quadrática ocorreu a partir da concentração de $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, e mesmo assim, como é possível observar na Figura 2C, não houve variação do valor da isoterma até a concentração de $70 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Os dados de equilíbrio obtidos para a resina UBK 535 não apresentaram variação positiva do valor de q , ou seja, essa resina não conseguiu adsorver as moléculas de sacarose na solução, nas concentrações avaliadas, impossibilitando o ajustamento de um modelo de regressão.

A Figura 4 apresenta a distribuição dos valores do coeficiente de distribuição (K) obtidos para as resinas que permitiram o ajuste de equações lineares tendo um único parâmetro relacionado.

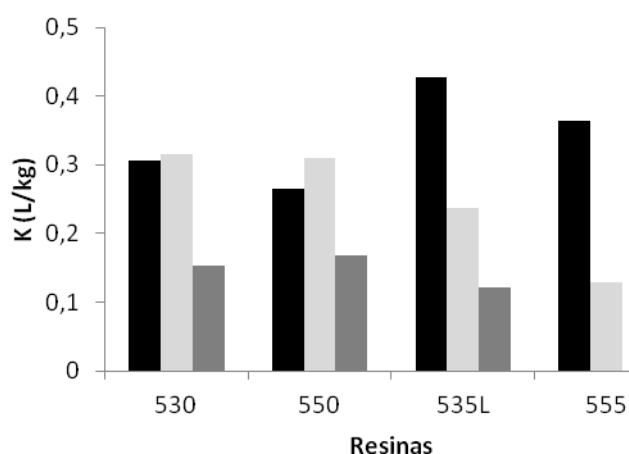


Figura 4. Coeficientes de distribuição (K) dos carboidratos nas resinas de troca catiônica obtidos a partir de suas isotermas lineares de adsorção.

■ Frutose, ■ Glicose, ■ Sacarose

Sendo K o coeficiente de distribuição, quanto mais distante da unidade, maior é a eficiência da resina em adsorver o carboidrato presente na fase líquida. Os valores obtidos de K mostram claramente que a capacidade dos adsorventes em relação aos carboidratos decresce de frutose ($180,16 \text{ g/mol}$) > glicose ($180,16 \text{ g/mol}$) > sacarose ($342,30 \text{ g/mol}$). A permuta entre a fase sólida (resina) e líquida das soluções de monocomponentes ocorre quando moléculas de água ligadas aos íons das partículas são trocadas com alguns grupos hidroxilas dos açúcares. Sendo assim, o número e a orientação axial-equatorial do grupo hidroxil determina a adsorção relativa de cada

açúcar e a estabilidade do complexo formado. A glicose e frutose existem como estruturas de anel de piranose e furanose, com diferentes porcentagens molares de formas α e β . A forma β -D-glicose não tem qualquer orientação axial-equatorial e α -D-glicose tem uma orientação. A α -D-frutose tem uma orientação axial-equatorial e a β -D-frutose tem duas orientações (Goulding, 1975). Entre 25 e 40 °C, a composição de equilíbrio da frutose é de 10% na forma α e 90% β (Lichtenthaler, Ronninger, 1990); e da glicose é de 40% de α e 60% de β (Angyal, 1991). Por essas razões, para as resinas analisadas, era esperado que houvesse maior adsorção da frutose em detrimento à glicose. E em relação à sacarose, como não há qualquer orientação axial-equatorial e seu tamanho molecular é mais elevado (Nobre et al., 2009), a adsorção desse carboidrato pela resina não poderia ser favorecida.

Além da orientação axial-equatorial, o grau de reticulação de uma resina tem substancial influência sobre a quantidade de açúcar adsorvido (Caruel et al., 1992; Adachi, Yoshino, Matsuno, 1999; Vente et al., 2003) pois o teor de DVB pode excluir a adsorção de carboidratos de cadeia maior em detrimento aos monossacarídeos. Por outro lado, o aumento do grau de reticulação pode também comprometer a adsorção dos monossacarídeos devido à redução no espaço disponível na resina (Vente et al., 2003; Lei et al., 2010). Desta forma, a exclusão por tamanho justifica o fato da adsorção pela resina UBK 535L ter sido maior em relação à resina UBK 555, já que a diferença entre elas reside principalmente no grau de reticulação e tamanho médio das partículas, sendo que a primeira apresenta um diâmetro maior e com mais espaço livre.

Já a resina UBK 535 de tamanho médio de partícula igual à resina UBK 555, apresenta menor teor de etnilbenzeno e etenil-etil-benzeno (30-60 %) e menor capacidade de troca total, demonstrando portanto, inferior condição de adsorção.

Quanto às resinas UBK 530 e 550, apesar de possuírem o mesmo tamanho médio das partículas, o menor grau de reticulação favoreceu a adsorção dos monossacarídeos.

Os valores de K para frutose foram maiores nas resinas contendo cálcio em sua composição (UBK 535L e 555), enquanto que, para glicose e sacarose maiores valores foram obtidos para as resinas contendo sódio (UBK 530 e 550).

De acordo com Morel-Desrosiers, Morel (1989), a formação do complexo com o cátion é mais significativo na separação de moléculas com o mesmo tamanho e diferente estrutura, tais como glicose e frutose. As resinas de troca catiônica na forma de cálcio formam complexos fortes com os açúcares (Pedruzzi, Silva, Rodrigues, 2008), especialmente com a frutose, apresentando maior seletividade (Luz et al., 2008), enquanto que as resinas contendo sódio são consideradas íons não complexos, pois

formam complexos fracos entre os açúcares e cátions univalentes (Tiihonen, Markkanen, Paatero, 2002).

3.3 Seletividade

A seletividade da resina é um parâmetro importante que sempre deve ser considerado na verificação do melhor adsorvente para uma determinada separação (Nobre et al., 2009). No presente estudo, as seletividades foram calculadas usando o coeficientes de distribuição obtidos anteriormente e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de seletividade (α) para frutose, glucose e sacarose, em relação às diferentes resinas de roca iônica.

Resina UBK	Componentes	α
530	G/F	1,0306
	F/S	1,9916
	G/S	2,0525
550	G/F	1,1673
	F/S	1,5740
	G/S	1,8373
535L	F/G	1,8018
	F/S	3,5045
	G/S	1,9450
555	F/G	2,8180

F: frutose; G: glicose; S: sacarose

A menor seletividade encontrada foi para a relação entre os açúcares frutose e glicose em todas as resinas, enquanto que a razão frutose/sacarose apresentou o maior valor de α , devido à forte adsorção de frutose nas resinas, especialmente para a resina UBK 535L com maior tamanho médio de partículas.

De acordo com Nobre et al. (2009) que encontrou resultados semelhantes, a menor seletividade entre frutose e glicose se deve ao fato desses monossacarídeos terem a mesma massa molar.

Esses resultados confirmam a baixa seletividade de adsorção de sacarose pelas resinas testadas, demonstrando boa aplicabilidade da separação entre mono e dissacarídeos.

3.4 Comparação e contraste

Para avaliar a contribuição deste trabalho, as isotermas de equilíbrio para frutose, glicose e sacarose foram comparadas com outras resinas de troca iônica já pesquisadas, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4. Isotermas de equilíbrio de frutose, glicose e sacarose em diferentes resinas de troca iônica.

Tipo de resina	Contra- íon	Matriz	TMP (μm)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Tipo de açúcar	K ($\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Referência
Dowex 99/Ca	Ca^{+2}	Poli (estireno- co-DVB)	320	30	Frutose	0,50	Azevedo e Rodrigues, 2001
				50	Glicose	0,18	
						Frutose	
				Glicose		0,17	
Diaion UBK530	Na^{+}		220		Frutose	0,805	Gramblička; Polakovič, 2007
Dowex 99/Ca	Ca^{+2}	Poli (estireno- co-DVB)	320	60	Glicose	0,746	
					Frutose	0,565	
Amberlite IR- 120	Ca^{+2}		320		Frutose	0,685	
					Glicose	0,420	
Lewatit S2568	Na^{+}		680		Sacarose	0,350	
					Frutose	0,758	
					Glicose	0,519	
					Sacarose	0,421	
Diaion UBK555	Ca^{+2}	Poli (estireno- co-DVB)	160	25	Frutose	0,73	Luz et al., 2008
Dowex 99/Ca	Ca^{+2}		320		Glicose	0,38	
Dowex 50WX4	K^{+}	Poli (estireno- DVB)	55,5	20	Frutose	0,63	MP: cajú
				40	Glicose	0,29	
				60	Frutose	0,67	
Dowex 88	Na^{+2}	Estireno- DVB	550	40	Glicose	0,66	Pedruzzi et al., 2008
					Frutose	0,63	
Dowex 99K/320	K^{+}		317		Frutose	0,802	
					Glicose	0,796	
Amberlite CR1320Ca	Ca^{+2}	Poli (estireno)- DVB)	320	60	Sacarose	0,691	Nobre et al., 2009
					Frutose	0,903	
					Glicose	0,757	
Finex CS 11 GC	Na^{+}	Estireno- DVB	330		Sacarose	0,511	
					Frutose	0,762	
					Glicose	0,597	
Finex CA 12 GC	Na^{+}	Acrílico- DVB	430		Sacarose	0,426	Vaňkova et al., 2010
					Frutose	1,069	
Finex AS 510 GC	SO_4^{-2}	Estireno- DVB	320	65	Glicose	0,893	
					Sacarose	0,618	
Finex AA 12 GC FB	SO_4^{-2}	Metacrilato -DVB	320		Frutose	---	
					Glicose	---	
					Sacarose	0,824	
					Frutose	1,031	Saari et al., 2010
					Glicose	0,971	
					Sacarose	0,869	
					Frutose	0,541	
					Glicose	0,503	
					Sacarose	---	
Purolite PCR642Ca	Ca^{+2}	Poli (estireno)- DVB)	315	30	Frutose	0,55	Mostafazade h et al., 2011
				60	Glicose	0,35	
					Frutose	0,48	MP: xarope de tâmara
					Glicose	0,31	

* TMP: Tamanho médio de partícula, T: temperatura, MP: matéria-prima.

Fazendo um comparativo e corroborando os resultados encontrados, observa-se que a adsorção de frutose foi maior em todas as resinas, independente da sua forma iônica, tamanho médio das partículas e temperatura de operação; seguida da glicose e sacarose.

De acordo com os estudos apresentados, temperaturas menores favorecem a adsorção dos carboidratos já que a adsorção física é um fenômeno exotérmico, ou seja, para cada degrau positivo de temperatura a quantidade adsorvida diminui.

Os valores de K citados na Tabela 4 variaram de 0,43 a 1,069 para frutose, 0,17 a 0,971 para glicose e 0,35 a 0,869 para sacarose, enquanto que no presente estudo, foram observados valores inferiores, variando de 0,266 a 0,4272 para frutose, 0,1291 a 0,3163 para glicose e 0,1219 a 0,169 para sacarose. Em geral, as resinas contendo Na como forma iônica expressaram melhores resultados, contudo, para a maioria dessas resinas, o tamanho médio das partículas era maior, o que colabora grandemente para uma maior adsorção do carboidrato, como já explicado anteriormente. No presente estudo, isso ficou bem demonstrado entre as resinas UBK 535L e 555, que apresentavam diferença essencialmente em relação ao tamanho médio das partículas e grau de reticulação.

4. CONCLUSÃO

Frutose e glicose, apesar do diâmetro médio igual, possuem orientações axial-equatorial diferentes, o que influencia a adsorção pelas resinas. Sendo assim, o diâmetro das partículas dos adsorventes, não foi um fator excludente em relação aos monossacarídeos, diferentemente da sacarose, que por possuir um diâmetro maior, sugere-se que possa ser separado dos monossacarídeos por exclusão do tamanho, como demonstrou os resultados das isotermas de adsorção da resina UBK 535L.

Além da orientação axial-equatorial, a formação de complexos fortes com a frutose, favorece sua adsorção, especialmente nas resinas com formas divalentes ligadas (Ca^{+2}).

O menor grau de reticulação para um mesmo diâmetro de partícula mostrou-se favorável à adsorção, como pôde ser observado entre as resinas UBK 530 e 550.

Resinas com menor tamanho médio de partículas, baixa capacidade total de troca e composição estrutural inferior, não são efetivas na adsorção de carboidratos, como ocorreu na resina UBK 535.

Diante dos resultados encontrados, o tamanho do diâmetro médio das partículas e o grau de reticulação tem influência primária sobre a adsorção, especialmente em

relação à compostos de tamanhos diferentes. Já para aqueles compostos com o mesmo tamanho médio, a troca catiônica é a grande responsável pela seletividade.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrams, I.M.; Millar J.R. A history of the origin and development of macroporous ion-exchange resins, *React. Funct. Polym.* 35, 7–22, 1997.

Adachi, S.; Watanabe, T.; Kohashi, M. Effects of the divinylbenzene content and ionic form of cation-exchange resin on the chromatographic separation of maltooligosaccharides. *Agric. Biol. Chem.* 53, 3193–3201, 1989.

Adachi, S.; Yoshino, T.; Matsuno, R. Estimation of the Binding of a Saccharide to Sodium-Ion Using Cation-Exchange Resins with Different Divinylbenzene Contents. *J. Chem. Eng. Jpn.* 32, 678, 1999.

Angyal, S.J. The composition of reducing sugars in solution – current aspects, *Carbohydr. Chem. Biochem.* 49, 19–35, 1991.

Association of Official Analytical Chemist's (AOAC). Official methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. 17 th. Arlington: AOAC Inc., 2000.

Azevedo, D. C. S.; Rodrigues, A. E. Obtainment of high-fructose solutions from cashew (*Anacardium occidentale*, L.) apple juice by SMB chromatography. *Sep. Sci. Technol.* 35, 2561–2581, 2000.

Brites, L.M. Separação e purificação do ácido clavulânico através da extração líquido-líquido seguida de adsorção em coluna de leito fixo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2005. 86 p.

Caruel, H.; Phemius, P.; Rigal, L.; Gaset, A. Chromatographic separation of polyols by ligand exchange. Effects of the ion-exchange resin cross-linking and size. *J. Chromatogr.* 594, 125, 1992.

Falone, S.Z.; Vieira, E.M. Adsorção/dessorção do explosivo tetril em turfa e em argissolo vermelho amarelo. *Quím Nova*, 27, 6, 2004.

Francisco, M.; Mlinar, A.N.; Yoo, B.; Bell, A.T.; Prausnitz, J.M. Recovery of glucose from an aqueous ionic liquid by adsorption onto a zeolite-based solid. *Chem. Eng. J.* 172, 184–190, 2011.

Goulding, R.W. Liquid-chromatography of sugars and related polyhydric alcohols on cation exchangers – effect of cation variation, *J. Chromatogr.* 103, 229–239, 1975.

Gramblička, M.; Polakovič, M. Adsorption equilibria of glucose, fructose, sucrose, and fructooligosaccharides on cation exchange resin. *J. Chem. Eng. Data.* 52, 345–350, 2007.

Heikkilä, H.; Sarmala, P.; Kärki, A.; Nurmi, N.; Paananen, H. U.S. Patent US7361273, 2008.

- Lei, H.; Bao, Z.; Xing, H.; Yang, Y.; Ren, Q.; Zhao, M.; Huang, H. Adsorption Behaviour of Glucose, Xylose, and Arabinose on Five Different Cation Exchange Resins. *J. Chem. Eng. Data.* 55, 735–738, 2010.
- Lichtenthaler, F.W.; Ronninger, S. Alpha-d-glucofuranosyl-d-fructoses – distribution of furanoid and pyranoid tautomers in water, dimethyl-sulfoxide, and pyridine – studies on ketoses, 4, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2*, 1489–1497, 1990.
- Luz, D.A.; Rodrigues, A.K.O.; Silva, F.R.C.; Torres, A.E.B.; Cavalcante Jr, C.L.; Brito, E.S.; Azevedo, D.C.S. Adsorptive separation of fructose and glucose from an agroindustrial waste of cashew industry. *Bioresour. Technol.* 99, 2455–2465, 2008.
- Marquardt, M.; Lima, V.L.E. A síntese orgânica em fase sólida e seus suportes poliméricos mais empregados. *Quím. Nova.* 24, 6, 846-855, 2001.
- Morel-Desrosiers, N.; Morel, J. P. Interaction between cation and sugar. Part 5. Enthalpy and entropy of interaction of the calcium ion with some aldopentoses and aldohexoses in water at 298.15 K. *J. Chem. Soc.* 85, 3461–3469, 1989.
- Mostafazadeha, A.K.; Sarshara, M.; Javadiana, Sh.; Zarefardc, M.R.; Haghghid, Z. A. Separation of fructose and glucose from date syrup using resin chromatographic method: Experimental data and mathematical modeling. *Sep. Purif. Technol.* 79, 72–78, 2011.
- Khosravanipour Mostafazadeh, A.; Sarshar, M.; Javadian, Sh.; Zarefard, M.R.; Amirifard Haghghi, Z. Separation of fructose and glucose from date syrup using resin chromatographic method: Experimental data and mathematical modeling. *Sep. Purif. Technol.* 79, 72–78, 2011.
- Nobre, C.; Santos, M. J.; Dominguez, A.; Torres, D.; Rocha, A.; Peres, M.; Rocha, I.; Ferreira, E. C.; Teixeira, T. A.; Rodrigues, L. R. Comparison of adsorption equilibrium of fructose, glucose and sucrose on potassium gel-type and macroporous sodium ion-exchange resins. *Anal. Chim. Acta.* 654, 71–76, 2009.
- Pedruzzi, I.; Silva, E.A.B.; Rodrigues, A.E. Selection of resins, equilibrium and sorption kinetics of lactobionic acid, fructose, lactose and sorbitol. *Sep. Purif. Technol.* 63, 600–611, 2008.
- Saari, P.; Häkkä, K.; Jumppanen, J.; Heikkilä, H.; Hurme, M. Study on Industrial Scale Chromatographic Separation Methods of Galactose from Biomass Hydrolysates. *Chem. Eng. Technol.* 33, 137–144, 2009.
- Saari, P.; Heikkila, H.; Hurme, M. Adsorption Equilibria of Arabinose, Fructose, Galactose, Glucose, Mannose, Rhamnose, Sucrose, and Xylose on Ion-Exchange Resins. *J. Chem. Eng. Data.* 55, 9, 3462–3467, 2010.
- Schulte, A.E.M. Fundamentals and general terminology, in: Schmidt-Traub (Ed.), *Preparative Chromatography of Fine Chemicals and Pharmaceutical Agents*, Wiley-VCH, Weinheim, 2005, pp. 32–40.
- Sherrington, D.C. Preparation, structure and morphology of polymer supports, *Chem. Commun.* 21, 2275–2286, 1998.

Statistical Analysis System – SAS. User's procedures guide. Version 9.2, Cary: SAS Institute, Inc 1989. 2v.

Takahashi, Y.; Goto, S. Continuous separation of fructooligosaccharides using an annular chromatography. *Sep. Sci. Technol.* 29, 1311–1318, 1994.

Tiihonen J., Markkanen I., Paatero E. Complex stability of sugars and sugar alcohols with Na^+ , Ca^{2+} , and La^{3+} in chromatographic separations using poly(styrene-co-divinylbenzene) resins and aqueous organic eluents, *Chem. Eng. Commun.* 189, 995–1008, 2002.

Vaňkova k.; Ačai P.; Polakovič M. Modelling of fixed-bed adsorption of mono-, di-, and fructooligosaccharides on a cation-exchange resin. *Biochem. Eng. J.* 49, 84–88, 2010.

Vente, J. A. Adsorbent functionality in relation to selectivity and capacity in oligosaccharide separations. PhD. Thesis, University of Twente, Netherland, 2005.

Vente, J. A.; Bosch, H.; de Haan, A. B.; Bussmann, P. J. T. Evaluation of sugar sorption isotherm measurement by frontal analysis under industrial processing conditions. *J. Chromatogr. A.* 1066, 71–79, 2005.

Vente, J.; Bosch, H.; de Haan, A.; Bussmann, P. Adsorptive separation of oligosaccharides: influence of crosslinking of cation exchange resins, *Proc. of the 3rd Pacific Basin Conf. on Adsorption Science and Technology*; Lee, C., Ed.; World Scientific Publishing: Singapore, 2003.

CONCLUSÃO GERAL

Nas condições em que foi realizado este trabalho, conclui-se que:

- Dentre os agentes antiescurecimento avaliados de forma isolada, metabissulfito de sódio, cisteína e os ácidos ascórbico, cítrico e tartárico permitiram um armazenamento prolongado (17 dias) do yacon minimamente processado, no entanto, metabissulfito de sódio e cisteína exibiram características sensoriais que tornaram seu consumo bastante desagradável, mesmo sob baixas concentrações, diferentemente dos agentes ácidos que exibiram características sensoriais intermediárias em relação ao controle, com exceção do ácido tartárico que se destacou por apresentar os maiores escores para gosto ácido, adstringência e aroma ácido.
- Sugere-se novos estudos utilizando diferentes concentrações dos ácidos málico, láctico, succínico e EDTA a fim de obter maior tempo de armazenamento do yacon minimamente processado sem alterações negativas de suas características sensoriais.
- Os agentes antiescurecimento - ácidos ascórbico, cítrico e tartárico - avaliados de forma isolada ou em mistura, totalizando $0,2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, permitiram um tempo de armazenamento do yacon minimamente processado de 17 dias, sendo que, independente dos ácidos e suas concentrações, a eficiência no controle do escurecimento enzimático foi semelhante. Por outro lado, em relação às características sensoriais, para se obter o yacon minimamente processado com atributos mais similares ao yacon in natura, deve-se optar por uma menor concentração do ácido cítrico.
- Os métodos convencionais de separação dos FOS e inulina do yacon, bem como a separação por meio do uso de peneiras de diferentes mesh, após a sonicação, não permitiram bons resultados, e em relação à extração, o método convencional parece ter favorecido a hidrólise parcial e total das fibras, aumentando consideravelmente a quantidade de carboidratos simples (frutose, glicose e sacarose).
- A aplicação do ultrassom para extrair os FOS e inulina do yacon, apesar de ter sido realizada em condições bastante severas, demonstrou ser interessante devido à facilidade de utilização, curto tempo de aplicação e reduzido consumo de energia, otimizando o processo de extração.

- Estudos futuros devem ser realizados a fim de verificar métodos eficientes de separação das fibras do yacon, como peneiras de mesh menor, utilização de diferentes solventes e, também, valores de potência, amplitude e frequência mais brandos, a fim de permitir um ótimo desempenho e rendimento de extração das fibras solúveis do yacon.
- A utilização de resinas mostrou-se eficiente na adsorção de carboidratos simples, contudo, devem ser analisadas outras condições, como utilização de diferentes temperaturas, para aumentar a adsorção. Além disso, deve-se começar a introduzir misturas de componentes e, inclusive, a solução de yacon para verificar a capacidade de separação entre estes carboidratos e as fibras solúveis da raiz.

ANEXOS

CAPÍTULO 1

3.1. Análise sensorial descritiva de yacon minimamente processado

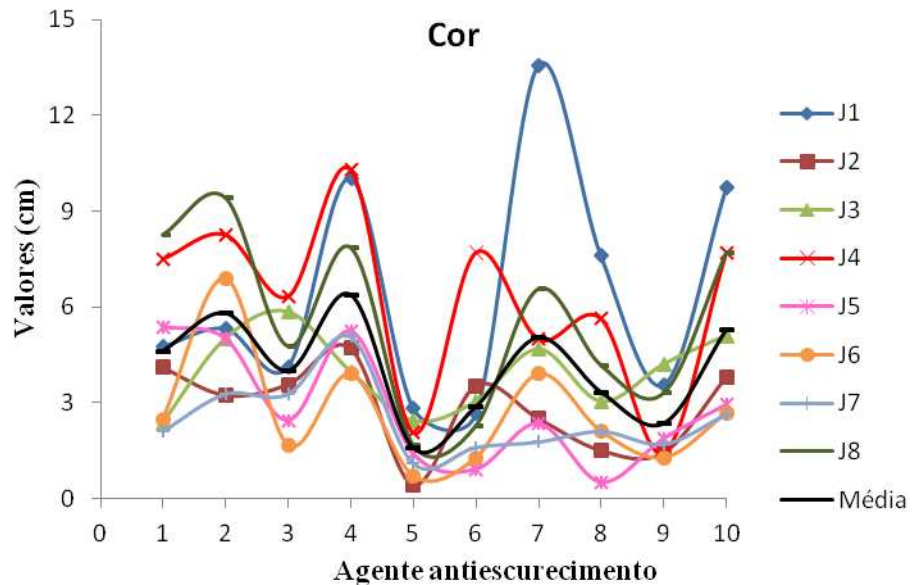


Figura 1. Escores médios do atributo sensorial cor avaliado por cada julgador, para cada agente antiescurecimento utilizado no yacon minimamente processado.

Agente antiescurecimento 1 = metabisulfito de sódio; 2 = cisteína; 3 = EDTA; 4 = ácido láctico; 5 = ácido tartárico; 6 = ácido málico; 7 = ácido succínico; 8 = ácido ascórbico; 9 = ácido cítrico e 10 = controle.

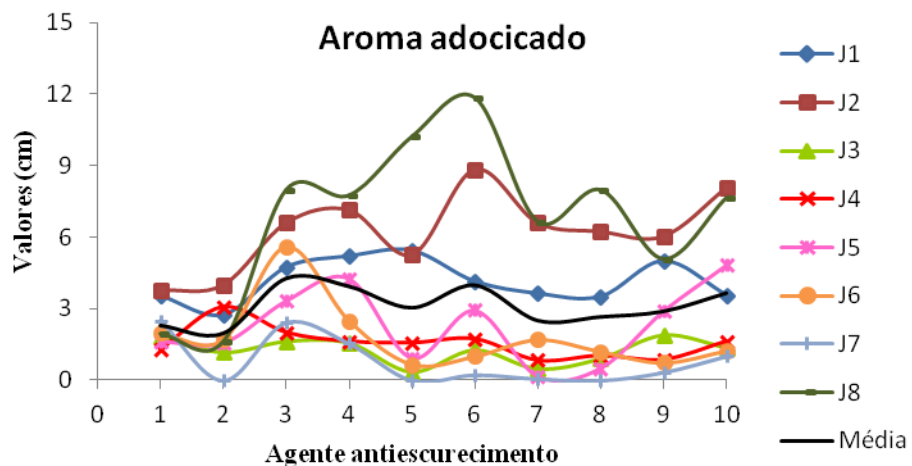


Figura 2. Escores médios do atributo sensorial aroma adocicado avaliado por cada julgador, para cada agente antiescurecimento utilizado no yacon minimamente processado.

Agente antiescurecimento 1 = metabisulfito de sódio; 2 = cisteína; 3 = EDTA; 4 = ácido láctico; 5 = ácido tartárico; 6 = ácido málico; 7 = ácido succínico; 8 = ácido ascórbico; 9 = ácido cítrico e 10 = controle.

Tabela 1. Resumo da ANOVA dos atributos sensoriais de yacon minimamente processado tratado com diferentes agentes antiescurecimento.

ATRIBUTO	FV	GL	QM	Versus resíduo	Versus interação
				Prob.	Prob.
Cor	A	9	56,8336	<0,0001*	<0,0001*
	J	7	71,0124		
	A*J	62	6,3255	0,1044 ^{ns}	
	Res	160	4,8679		
Brilho	A	9	11,5946	0,0164*	0,2673 ^{ns}
	J	7	438,1528		
	A*J	63	9,0829	0,0012*	
	Res	160	4,9446		
Gosto doce	A	9	17,2353	<0,0001*	<0,0001*
	J	7	27,3248		
	A*J	63	2,1264	0,1910 ^{ns}	
	Res	160	1,7837		
Gosto ácido	A	9	55,3802	<0,0001*	<0,0001*
	J	7	51,1443		
	A*J	63	9,0222	<0,0001*	
	Res	160	1,9826		
Gosto amargo	A	9	1,0035	0,1345 ^{ns}	0,1882 ^{ns}
	J	7	3,7384		
	A*J	63	0,6941	0,3577 ^{ns}	
	Res	160	0,6471		
Adstringência	A	9	4,3963	<0,0001*	0,0088*
	J	7	15,8604		
	A*J	63	1,5949	<0,0001*	
	Res	160	0,3678		
Sabor de yacon	A	9	42,6824	<0,0001*	0,0001*
	J	7	594,1770		
	A*J	63	9,5207	<0,0001*	
	Res	160	3,3779		
Sabor sulfurado	A	9	24,6388	<0,0001*	<0,0001*
	J	7	2,1625		
	A*J	63	2,2295	<0,0001*	
	Res	160	0,8919		
Aroma de yacon	A	9	31,6682	<0,0001*	0,0069*
	J	7	481,4240		
	A*J	63	11,0861	<0,0001*	
	Res	160	3,9589		
Aroma adocicado	A	9	15,0792	<0,0001*	0,0022*
	J	7	137,6181		
	A*J	61	4,5188	0,1410 ^{ns}	
	Res	160	3,6955		
Aroma ácido	A	9	14,7729	<0,0001*	0,0086*
	J	7	64,4549		
	A*J	63	5,3474	<0,0001*	
	Res	160	1,3328		
Umidade aparente	A	9	1,3024	0,2868 ^{ns}	0,6917 ^{ns}
	J	7	52,4766		
	A*J	63	1,8175	0,0042*	
	Res	160	1,0685		

A = Agente Antiescurecimento; J = Julgador; A*J= Interação Agente versus Julgador; Res = Resíduo.

3.2. Características físico-químicas do yacon minimamente processado

Tabela 2. Resumo da ANOVA para teor de fenólicos do yacon minimamente processado não tratado (controle) e tratado com os agentes antiescurecimento EDTA e ácidos láctico, málico e succínico, embalados com ou sem N₂, até o 5º dia de armazenamento.

Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Agente	4	3,6394	0,7074 ^{ns}
Gás	1	2,2446	0,5891 ^{ns}
Resíduo (a)	4	6,5287	
Tempo	2	36,0044	0,0122*
Agente*Tempo	8	3,5569	0,6234 ^{ns}
Gás*Tempo	2	1,9611	0,6598 ^{ns}
Resíduo (b)	8	4,4746	

* Significativo a 5% probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% probabilidade. Gás = Presença ou ausência de N₂ na embalagem do yacon minimamente processado.

Tabela 3. Resumo da ANOVA para atividade da peroxidase do yacon minimamente processado não tratado (controle) e tratado com os agentes antiescurecimento EDTA e ácidos láctico, málico e succínico, embalados com ou sem N₂, até o 5º dia de armazenamento.

Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Agente	4	0,9889	0,6628 ^{ns}
Gás	1	0,8463	0,5008 ^{ns}
Resíduo	4	1,5488	

* Significativo a 5% probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% probabilidade. Gás = Presença ou ausência de N₂ na embalagem do yacon minimamente processado.

3.2.1. Sólidos solúveis totais of the yacon minimamente processado

Tabela 4. Resumo da ANOVA para teor de sólidos solúveis totais (SST) de yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento e embalados com ou sem N₂, durante o tempo de armazenamento.

Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Agente	4	8,8433	0,2290 ^{ns}
Gás	1	1,4784	0,5750 ^{ns}
Resíduo (a)	4	3,9771	
Tempo	9	2,7268	0,2523 ^{ns}
Agente*Tempo	36	1,2761	0,9155 ^{ns}
Tempo*Gás	9	3,0554	0,1857 ^{ns}
Resíduo (b)	35	2,0339	

* significativo a 5% probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% probabilidade. Gás = Presença ou ausência de N₂ na embalagem do yacon minimamente processado.

3.2.2. Estimativa de fenólicos totais do yacon minimamente processado

Tabela 5. Resumo da ANOVA para o conteúdo de fenólicos do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento e embalados com ou sem N₂, ao longo do tempo de armazenamento.

Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Agente	4	7,8551	0,2086 ^{ns}
Gás	1	1,1950	0,5783 ^{ns}
Resíduo (a)	4	3,2727	
Tempo	8	6,6323	<0,0001*
Agente*Tempo	32	1,6874	0,1092 ^{ns}
Gás*Tempo	8	0,5614	0,8327 ^{ns}
Resíduo (b)	31	1,0812	

* Significativo a 5% probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% probabilidade. Gás = Presença ou ausência de N₂ na embalagem do yacon minimamente processado.

3.2.3. pH do yacon minimamente processado

Tabela 6. Resumo da ANOVA para pH do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento e embalados com ou sem N₂, ao longo do tempo de armazenamento.

Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Agente	4	7,3928	0,0019*
Gás	1	0,0602	0,6062 ^{ns}
Resíduo (a)	4	0,1929	
Tempo	9	0,7752	<0,0001*
Agente*Tempo	36	0,1000	0,2349 ^{ns}
Tempo*Gás	9	0,0695	0,5448 ^{ns}
Resíduo (b)	35	0,0782	

* significativo a 5% probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% probabilidade. Gás = Presença ou ausência de N₂ na embalagem do yacon minimamente processado.

3.2.4 Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado

Tabela 7. Resumo da ANOVA para a atividade enzimática do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento e embalado com ou sem N₂, ao longo do tempo de armazenamento.

Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Agente	4	2,1284	0,0014*
Gás	1	3,23x10 ⁻⁵	0,9804 ^{ns}
Resíduo	4	0,0473	

* significativo a 5% probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% probabilidade.

3.2.5 Coordenadas de cor do yacon minimamente processado

Tabela 8. Resumo da ANOVA para a medida de cor instrumental L* e os valores de Hue (H*), Cromo (C*) e Índice de Escurecimento (IE) do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento e embalado com ou sem N₂, ao longo do tempo de armazenamento.

Medida	Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Coordenada de cor L*	Agente	4	37,7810	0,6281 ^{ns}
	Gás	1	55,4404	0,3664 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	53,5293	
	Tempo	9	23,8580	0,2603 ^{ns}
	Agente*Tempo	36	21,0353	0,3245 ^{ns}
	Gás*Tempo	9	39,6276	0,0463*
	Resíduo (b)	35	18,0232	
h*	Agente	4	9,3314	0,7955 ^{ns}
	Gás	1	44,5783	0,2342 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	22,756	
	Tempo	9	7,802	0,0966 ^{ns}
	Agente*Tempo	36	3,2352	0,7912 ^{ns}
	Gás*Tempo	9	2,8795	0,7241 ^{ns}
	Resíduo (b)	35	4,2538	
C*	Agente	4	21,4677	0,0010*
	Gás	1	1,1011	0,1749 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	0,4058	
	Tempo	9	3,2247	0,1004 ^{ns}
	Agente*Tempo	36	2,4903	0,1601 ^{ns}
	Gás*Tempo	9	2,7638	0,1675 ^{ns}
	Resíduo (b)	35	1,7767	
IE	Agente	4	65,4268	0,2924 ^{ns}
	Gás	1	85,7973	0,1997 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	36,4431	
	Tempo	9	11,1060	0,2321 ^{ns}
	Agente*Tempo	36	9,1260	0,3515 ^{ns}
	Gás*Tempo	9	4,7091	0,7983 ^{ns}
	Resíduo (b)	35	8,0176	

* Significativo a 5% probabilidade; ns = não significativo. Gás = Presença ou ausência de N₂ na embalagem do yacon minimamente processado.

3.2.6. Variação de massa do yacon minimamente processado

Tabela 9. Resumo da ANOVA para a variação de massa do yacon minimamente processado tratado com agentes antiescurecimento e embalado com ou sem N₂, ao longo do tempo de armazenamento.

Fonte de variação	GL	QM	p(F)
Agente	4	6,7299	0,0020*
Gás	4	0,1149	0,4712 ^{ns}
Resíduo (a)	4	0,1819	
Tempo	9	1,9537	0,0031*
Agente*Tempo	36	0,8513	0,0913 ^{ns}
Gás*Tempo	9	0,7589	0,2179 ^{ns}
Resíduo (b)	31	0,5303	

* significativo a 5% probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% probabilidade. Gás = Presença ou ausência de N₂ na embalagem do yacon minimamente processado.

3.2.7. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado

Tabela 10. Resumo da ANOVA para as medidas instrumentais de textura do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento e embalado com ou sem nitrogênio, ao longo do tempo de armazenamento.

Propriedade	FV	GL	QM	p(F)
Dureza	A	4	9,6284	0,0662 ^{ns}
	G	1	0,5365	0,6134 ^{ns}
	Res	4	1,7929	
Fratrabilidade	A	4	3,1515	0,0417*
	G	1	2,7878	0,0660 ^{ns}
	Res	4	0,4420	
Adesividade	A	4	3,00x10 ⁻⁷	0,2897 ^{ns}
	G	1	3,80x10 ⁻⁷	0,2043 ^{ns}
	Res	4	1,66x10 ⁻⁷	
Mastigabilidade	A	4	67,1012	0,2604 ^{ns}
	G	1	1,9370	0,8223 ^{ns}
	Res	4	33,6806	
Coabilidade	A	4	0,0068	0,1510 ^{ns}
	G	1	0,0023	0,3695 ^{ns}
	Res	4	0,0022	
Elasticidade	A	4	0,0842	0,6101 ^{ns}
	G	1	0,0049	0,8515 ^{ns}
	Res	4	0,1235	

* significativo a 5% probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% probabilidade. A = Agente antiescurecimento; G = Presença ou ausência de N₂ na embalagem do yacon minimamente processado; Res = Resíduo.

CAPÍTULO 2

3.1. Análise sensorial descritiva do yacon minimamente processado

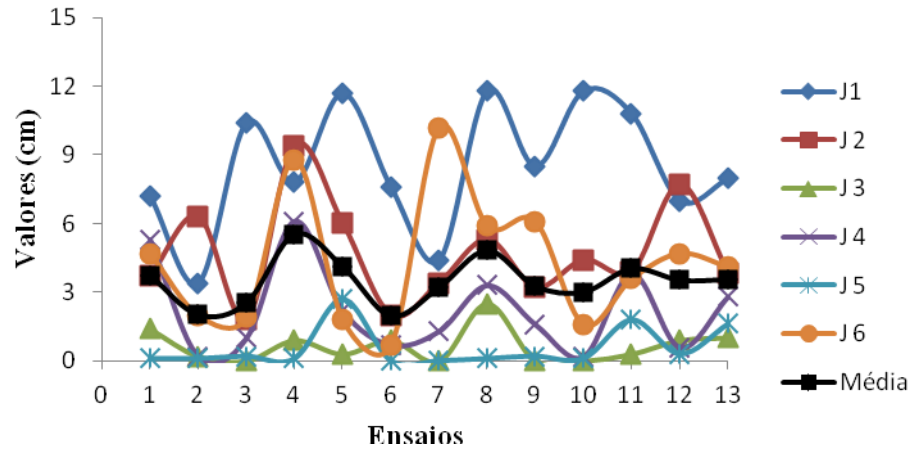


Figura 1. Escores médios do atributo sensorial adstringência avaliados por cada julgador, para cada agente antiescurecimento utilizado no yacon minimamente processado.

Tabela 1. Resumo da ANOVA dos atributos sensoriais de yacon minimamente processado tratado com a mistura dos agentes antiescurecimentos.

ATRIBUTO	FV	GL	QM	Versus	Versus
				resíduo	interação
				Prob.	Prob.
Cor	E	12	8,3079	0,2208 ^{ns}	0,0984 ^{ns}
	J	5	68,9317	<0,0001*	
	E*J	60	4,9935	0,6914 ^{ns}	
	Res	24	5,8211		
Brilho	E	12	11,5566	0,0048*	0,0497*
	J	5	67,8542	<0,0001*	
	E*J	60	6,0203	0,0579 ^{ns}	
	Res	24	3,3585		
Gosto doce	E	12	3,1523	0,2084 ^{ns}	0,3974 ^{ns}
	J	5	103,7581	<0,0001*	
	E*J	60	2,9343	0,2067 ^{ns}	
	Res	24	2,1630		
Gosto ácido	E	12	25,2404	0,0052*	0,0226*
	J	5	138,7074	<0,0001*	
	E*J	60	11,4445	0,1213 ^{ns}	
	Res	24	7,424		
Adstringência	E	12	9,0983	<0,0001*	<0,0001*
	J	5	86,3375	<0,0001*	
	E*J	60	1,9457	0,2040 ^{ns}	
	Res	24			
Sabor de yacon	E	12	8,7065	0,0405*	0,2049 ^{ns}
	J	5	266,4972	<0,0001*	
	E*J	60	6,3479	0,0829 ^{ns}	
	Res	24	3,7993		
Aroma de yacon	E	12	12,1213	0,0113*	0,0002*
	J	5	304,2815	<0,0001*	
	E*J	60	3,0769	0,8131 ^{ns}	
	Res	24	4,0896		
Aroma adocicado	E	12	3,3979	0,1512 ^{ns}	0,2444 ^{ns}
	J	5	109,0808	<0,0001*	
	E*J	60	2,6202	0,2770 ^{ns}	
	Res	24	2,0945		
Aroma ácido	E	12	29,7496	0,0065*	0,0002*
	J	5	73,5735	0,0001*	
	E*J	60	7,4937	0,7319 ^{ns}	
	Res	24	9,0913		
Umidade aparente	E	12	1,4928	0,7487 ^{ns}	0,6858 ^{ns}
	J	5	25,0384	<0,0001*	
	E*J	60	1,9590	0,6397 ^{ns}	
	Res	24	2,1766		

E = Ensaio; J = Julgador; A*J= Interação Amostra versus Julgador; Res = Resíduo;

3.2. Características físico-químicas do yacon minimamente processado

3.2.1. Determinação de fenólicos totais do yacon minimamente processado

Tabela 2. Resumo da ANOVA para teor de fenólicos do yacon minimamente processado e tratado com agentes antiescurecimento.

Medida	FV	GL	QM	P(F)
Fenólicos	Ensaio	12	197,5603	0,2006 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	80,6324	
	Tempo	6	47,2005	0,0149*
	Ensaio*Tempo	71	9,9968	0,8122 ^{ns}
	Resíduo (b)	20	13,3266	

* Significativo a 5 % de probabilidade; ns = não significativo. Ensaio da mistura dos agentes antiescurecimento pelo delineamento experimental de mistura.

3.2.2. Atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado

Tabela 3. Resumo da ANOVA para variação da atividade enzimática da peroxidase do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento.

Medida	FV	GL	QM	P(F)
AE	Ensaio	12	16,1554	0,0728 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	3,4118	
	Tempo	6	17,3475	0,0010*
	Ensaio*Tempo	72	4,9544	0,1054 ^{ns}
	Resíduo (b)	24	3,1392	

* Significativo a 5 % de probabilidade; ns = não significativo. Ensaio da mistura dos agentes antiescurecimento pelo delineamento experimental de mistura.

3.2.3. Coordenadas de cor do yacon minimamente processado

Tabela 4. Resumo da ANOVA para a medida instrumental de cor L* e os valores de Cromo, Hue e Índice de Escurecimento (IE) do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento.

Medida	FV	GL	QM	P(F)
Coordenada L*	Ensaio	12	43,4768	0,1773 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	16,2649	
	Tempo	6	29,7074	0,0111*
	Ensaio*Tempo	72	13,2017	0,1008 ^{ns}
	Resíduo (b)	24	8,2867	
Croma	Ensaio	12	2,91531	0,4314 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	2,22713	
	Tempo	6	3,87339	0,0009*
	Ensaio*Tempo	72	1,01403	0,1392 ^{ns}
	Resíduo (b)	24	0,68276	
Hue	Ensaio	12	11,5077	0,2265 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	5,1302	
	Tempo	6	19,8188	0,0406*
	Ensaio*Tempo	72	5,2538	0,8718 ^{ns}
	Resíduo (b)	24	7,4707	
IE	Ensaio	12	7,56402	0,7613 ^{ns}
	Resíduo (a)	4	12,0671	
	Tempo	6	13,6672	0,0102*
	Ensaio*Tempo	72	4,7747	0,2568 ^{ns}
	Resíduo (b)	24	3,7455	

* Significativo a 5 % de probabilidade; ns = não significativo.

3.2.4. Análise de perfil de textura do yacon minimamente processado

Tabela 5. Resumo da ANOVA para as medidas instrumentais de textura do yacon minimamente processado tratado com os agentes antiescurecimento e com o tempo de armazenamento.

Propriedade	FV	GL	QM	p(F)
Dureza	E	12	0,6856	0,2207 ^{ns}
	T	1	0,1439	0,5628 ^{ns}
	E*T	12	0,7361	0,1918 ^{ns}
	Res	8	0,3949	
Fraturabilidade	E	12	0,3147	0,4803 ^{ns}
	T	1	1,0701	0,0937 ^{ns}
	E*T	12	0,3830	0,3660 ^{ns}
	Res	8	0,2958	
Adesividade	E	12	4,44 x 10 ⁻⁸	0,6794 ^{ns}
	T	1	3,93 x 10 ⁻⁸	0,4366 ^{ns}
	E*T	12	3,57 x 10 ⁻⁸	0,7886 ^{ns}
	Res	8	5,86 x 10 ⁻⁸	
Mastigabilidade	E	12	27,4554	0,1735 ^{ns}
	T	1	39,5220	0,1318 ^{ns}
	E*T	12	16,0136	0,4383 ^{ns}
	Res	8	14,0297	
Coesividade	E	12	0,0038	0,0705 ^{ns}
	T	1	0,0040	0,1181 ^{ns}
	E*T	12	0,0020	0,2661 ^{ns}
	Res	8	0,0013	
Elasticidade	E	12	0,1989	0,1366 ^{ns}
	T	1	0,3556	0,0835 ^{ns}
	E*T	12	0,1132	0,3883 ^{ns}
	Res	8	0,0910	

* significativo a 5 % de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5 % de probabilidade. E = Ensaio; T = Tempo; E*T = interação Ensaio*Tempo; Res = Resíduo.