



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

**MICHELE UTPOTT**

**DESENVOLVIMENTO DE FARINHA DE PITAYA DE POLPA  
VERMELHA (*Hylocereus polyrhizus*) E MICROCÁPSULAS DE  
BETALAÍNAS COMO INGREDIENTES ALIMENTARES**

Porto Alegre

2019

**MICHELE UTPOTT**

**DESENVOLVIMENTO DE FARINHA DE PITAYA DE POLPA VERMELHA  
(*Hylocereus polyrhizus*) E MICROCÁPSULAS DE BETALAÍNAS COMO  
INGREDIENTES ALIMENTARES**

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

Orientador (a): Prof. Dra. Simone Hickmann Flôres  
Co-orientador (a): Prof. Dr. Alessandro de Oliveira Rios

Porto Alegre

2019

### CIP - Catalogação na Publicação

Utpott, Michele

Desenvolvimento de farinha de pitaya de polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e microcápsulas de betalainas como ingredientes alimentares / Michele Utpott. -- 2019.

114 f.

Orientadora: Simone Hickmann Flôres.

Coorientador: Alessandro de Oliveira Rios.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. pitaya. 2. betalainas. 3. microencapsulação. 4. resíduos. 5. substituto de gordura. I. Flôres, Simone Hickmann, orient. II. Rios, Alessandro de Oliveira, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, por me dar apoio e suporte, e por ter compreendido meus momentos de ausência durante esse período de muito trabalho e estudo;

Ao meu companheiro de vida, por estar sempre ao meu lado, pela ajuda incondicional e por aguentar os meus dias de estresse e mau humor;

À Simone, por ser mais que uma orientadora, mas também um exemplo de profissional dedicada e atenciosa. Agradeço muito pela orientação, conselhos e apoio nos momentos de dúvida e de desespero, seja na vida profissional, pessoal ou acadêmica;

Ao Alessandro, pela parceria, pelos ensinamentos e por toda a contribuição e disponibilidade nos momentos que precisei;

Aos colegas do Núcleo Técnico Científico (NTC), Ana, Andressa, Luana, Raul e Tiago, que me deram apoio técnico e suporte pessoal para a realização desse trabalho, obrigada a todos pelos momentos de descontração e risadas durante o trabalho. Em especial à Ana, que cobriu as minhas ausências durante os experimentos;

Aos colegas do Laboratório de Compostos Bioativos (Lab211) que contribuíram de alguma forma para o sucesso desse trabalho, pela ajuda, pelas conversas, e pelos bons momentos que passamos. Ao Carlos, que voltou nos últimos meses para contribuir com o fechamento dessa etapa, agradeço pela paciência, disposição e conselhos; ao Renato e a Camila, que estavam sempre dispostos a ajudar ou mesmo bater um papo; a Melina, Carol Galarza e a Rubilene, que se mostraram muito disponíveis e atenciosas, me auxiliando em vários momentos;

Aos bolsistas, Camila, Raissa, Júlia, Sheila e André, que foram indispensáveis durante essa etapa, mesmo alguns não estando vinculados ao projeto. Muito obrigada por toda a ajuda e empenho de vocês;

Ao Diogo, colega e amigo que esteve sempre pronto para me auxiliar no que fosse preciso, seja com algum problema de equipamento, seja para apenas ouvir meus desabaços ou jogar conversa fora, seja para ficar alguns dias comigo até tarde no ICTA;

Aos demais colegas e professores do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, que estiveram sempre disponíveis para esclarecer dúvidas ou contribuir de alguma forma com este trabalho, em especial à Bruna, Eliseu, Kátia e Roberta; e ao Manfroi e ao Plinho, pelo apoio e incentivo aos estudos.

## RESUMO

A pitaya de polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) tem despertado interesse em diversos países, como o Brasil, por ser um fruto ainda pouco explorado e por conter altas quantidades de fibras alimentares e compostos bioativos, como as betalaínas. Este pigmento extraído da polpa da pitaya tem um forte potencial de fornecer cor na tonalidade vermelho-roxo, no entanto é instável sob diversas condições de processamento e de armazenamento. Uma alternativa para aumentar a estabilidade e melhorar a aplicação de compostos naturais como os pigmentos é a técnica de microencapsulação. Além disso, a casca desse fruto, um subproduto do processamento da polpa, pode apresentar alto valor, contudo é normalmente descartado no meio ambiente. Assim, o objetivo deste trabalho foi obter novos ingredientes, como fibras dietéticas e microcápsulas de betalaínas, a partir da casca e da polpa da pitaya vermelha, respectivamente, e avaliar sua aplicação em alimentos. Os ingredientes desenvolvidos foram caracterizados quanto as suas propriedades físicas, químicas e tecnológicas, e avaliados quanto à estabilidade dos pigmentos. A farinha obtida da casca mostrou-se com características físico-químicas e funcionais adequadas, como alto teor de fibras, altas solubilidade e capacidade de retenção de água, para aplicação como substituto de gordura em alimentos. Além disso, sua adição em sorvetes com baixo teor de gordura melhorou aspectos nutricionais e de textura, com manutenção das propriedades sensoriais. As betalaínas presentes na polpa foram encapsuladas por *spray drying* utilizando combinações de materiais de parede e apresentaram propriedades físicas e morfologia adequadas para aplicação em alimentos. No entanto, diferentes comportamentos ao longo do tempo de armazenamento foram observados, indicando que a seleção dos agentes de proteção é essencial para a eficiência da técnica. A mucilagem, extraída da casca do mesmo fruto, mostrou-se um excelente agente encapsulante, com aumento da estabilidade dos pós produzidos. As formulações de microcápsulas com maior estabilidade foram aplicadas em iogurtes, que apresentaram alta estabilidade da cor ao longo da vida útil do produto.

**Palavras- chave:** pitaya; betalaínas; microencapsulação; fibras; sorvete; iogurte.

## ABSTRACT

Red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) has aroused interest in several countries, as Brazil, because it is a fruit still little explored and because it contains high amounts of dietary fibers and bioactive compounds, such as betalains. This pigment extracted from pitaya pulp has a considerable potential to provide color in red-purple tonality. However, it is unstable under several storage conditions. An alternative to increase stability of natural compounds such as pigments is the microencapsulation technique. In addition, the peel of this fruit, a by-product of pulp processing, can be a high-value residue that has been discarded to the environment. Thus, the main of this work was to obtain new ingredients as dietetic fibers and betalain microcapsules from red pitaya peel and pulp, respectively, and to evaluate its application in foods. The developed ingredients were characterized as to their physical, chemical and technological properties, and evaluated for the stability of the pigments. The flour obtained from peel was shown with suitable physicochemical and functional characteristics, as high content of fibers, solubility and water-holding capacity, for application as fat substitute in food. And its addition in low-fat ice creams improved texture and nutritional aspects, with maintenance of sensory properties. The betalains present in the pulp were encapsulated by spray drying using combinations of wall materials and had adequate physical properties and morphology for food application. However, different behaviors under storage time were observed, indicating that the selection of protecting agents is essential for the efficiency of the technique. The mucilage, extracted from the peel of the same fruit, showed as an excellent encapsulating agent, with stability increase of produced powders. The microcapsule with higher stability were applied in yogurts, which had high stability of color during shelf life of the product.

**Keywords:** pitaya; betalains; microencapsulation; dietary fibers; ice cream; yogurt.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura geral do ácido betalâmico(a), betacianinas (b) e betaxantinas (c). Betanina: $R_1 = R_2 = H$ . $R_3 =$ amina ou grupo aminoácido(AZEREDO, 2009).....	19
Figura 2. Sorveteira Tramontina Express .....	32
Figura 3. Spray-dryerMSDi 1.0.....	34
Figura 4. Analisador de textura Stable Micro Systems .....	39
Figura 5. Reômetro HAAKE Mars III.....	40
Figura 6. HPLC acoplado a espectrofotômetro de massas.....	43
Figura 7. Microscópio Eletrônico de Varredura JSM-6060 .....	44
Figura 8. Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC 8500).....	45
Figura 9. Flow curves of strawberry ice creams, shear stress vs. shear rate (A), apparent viscosity vs. shear rate (B).....	69
Figura 10. Microcapsules of betalains from red pitaya pulp .....	87
Figura 11. Scanning electron micrographs of the microcapsules.....	90
Figura 12. Betacyanin retention (%) of the three microcapsules storage at 40°C for 50 days.....	92
.Figura 13. Color parameters ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) at initial and final day of storage .....	94
Figura 14. Betacyanin retention (%) of yogurts storage at 5°C for 28 days. ....	95

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 .Formulações de sorvete de morango desenvolvidas.....	32
Tabela 2. Composição centesimal da polpa e casca das pitayas branca ( <i>Hylocereus undatus</i> ) e vermelha ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> ) em base úmida (%). .....	50
Tabela 3. Ice cream formulations .....	55
Tabela 4. Physicochemical and technological properties, betacyanin retention (BR) and antioxidant activity (ORAC) of pitaya peel powder.....	61
Tabela 5. Chemical and physical parameters of ice cream samples.....	65
Tabela 6. The apparent viscosity, the parameters of the Bingham model and thixotropic area of ice creams. ....	70
Tabela 7. Results of the sensory evaluation of strawberry ice creams.....	71
Tabela 8. Chemical and physical characteristics of the betalain microcapsules. ....	85
Tabela 9. Compounds identified in the red pitaya flesh extract ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> ) .....	88
Tabela 10. Degradation rate constant ( $k_t$ ), the coefficient of determination ( $R^2$ ) and half-life time ( $t_{1/2}$ ) for betalain microcapsules. ....	93
Tabela 11. Color stability of yogurts storage at 5°C for 28 days. ....	96



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral .....	13
2.2 Objetivos específicos .....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
3.1 Pitaya .....	15
3.2 Pigmentos naturais .....	17
3.2.1 Betalaínas .....	18
3.3 Encapsulação .....	22
3.3.1 Spray drying .....	23
3.4 Materiais de parede .....	24
3.4.1 Gelatina.....	26
3.4.2 Mucilagem.....	27
3.5 Aproveitamento de resíduos .....	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	31
4.1 Materiais .....	31
4.2 Preparação da farinha.....	31
4.3 Preparação dos sorvetes .....	31
4.4 Extração da mucilagem.....	33
4.5 Preparação das microcápsulas de betalaína .....	33
4.7 Análise de cor .....	35
4.8 Caracterização da farinha.....	35
4.8.1 Análises físico-químicas.....	35
4.8.2 Propriedades tecnológicas .....	35
4.8.3 Determinação da retenção de betacianinas.....	36
4.8.4 Determinação de atividade antioxidante.....	37
4.9 Caracterização dos sorvetes .....	38
4.9.1 Overrun.....	38
4.9.2 Taxa de derretimento .....	38
4.9.3 Análise de Perfil de Textura .....	39

4.9.4	Caracterização Reológica .....	39
4.9.5	Análise Sensorial .....	40
4.10	Caracterização das microcápsulas .....	41
4.10.1	Umidade e atividade de água.....	41
4.10.2	Rendimento de encapsulação (RE).....	41
4.10.3	Teor de betalaínas por HPLC-DAD .....	41
4.10.4	Análise de betalaínas por HPLC-MS/MS.....	42
4.10.5	Eficiência de Encapsulação .....	43
4.10.6	Morfologia e tamanho de partícula.....	43
4.10.7	Temperatura de transição vítrea .....	44
4.11	Estabilidade em condições aceleradas dos pós microencapsulados .....	45
4.12	Aplicação em um modelo de sistema alimentício.....	46
4.12.1	Adição das cápsulas de betalaína em iogurtes.....	46
4.12.2	Determinação do teor de betalaínas em iogurte.....	46
4.13	Análise Estatística.....	46
5.	CARACTERIZAÇÃO CENTESIMAL DAS PITAYAS DE POLPA VERMELHA ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> ) E BRANCA ( <i>Hylocereus undatus</i> ) PRODUZIDAS NO RIO GRANDE DO SUL .....	47
6.	CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF RED PITAYA ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> ) PEEL POWDER AS A FAT REPLACER IN ICE CREAM.....	53
7.	MICROENCAPSULATION OF BETALAINS FROM RED PITAYA PULP ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> ) BY SPRAY-DRYING WITH DIFFERENT ENCAPSULATING AGENTS .....	76
8.	DISCUSSÃO GERAL .....	100
9.	CONCLUSÃO .....	103
10.	REFERÊNCIAS.....	104

## 1. INTRODUÇÃO

A pitaya é um fruto pertencente à família de cactos *Cactaceae*, encontrada nas regiões tropicais e subtropicais da América Latina. No Brasil, sua produção concentra-se na região Sudeste, no estado de São Paulo, porém nos últimos anos tem havido uma maior demanda pelo fruto, e conseqüentemente aumentado o interesse pelo seu cultivo em diferentes regiões, incluindo o estado do Rio Grande do Sul. Duas espécies são mais comuns de serem encontradas: a pitaya branca (*Hylocereus undatus*) e a vermelha (*Hylocereus polyrhizus*), as quais diferem no formato, tamanho e cor da polpa.

Em particular, devido ao seu formato e principalmente à cor atrativa que apresenta, a pitaya de polpa vermelha desperta interesse por parte dos consumidores. Como fruto tropical, é rico em antioxidantes, e usualmente a polpa é consumida pura ou processada na forma de suco, o que gera como subproduto a casca. Esse resíduo, geralmente descartado, mostra-se como uma boa fonte de fibras, polifenóis, pectina e de corante natural.

A indústria de alimentos gera anualmente uma grande quantidade de resíduos do processamento de vegetais, frutos e grãos, os quais geralmente são de alto valor nutricional e podem ser utilizados em diferentes aplicações, como para obtenção de ingredientes funcionais, substratos para bioprocessos, revestimentos e filmes comestíveis. Muitos destes resíduos são considerados uma fonte de baixo custo para a obtenção de aditivos, uma vez que diversas tecnologias permitem a recuperação de compostos e sua reutilização no processamento de alimentos. Compostos fenólicos e pigmentos de cascas e sementes de frutos, por exemplo, podem ser aplicados como conservantes e corantes naturais em alimentos e bebidas; e as fibras dietéticas podem ser utilizadas com o propósito de redução da gordura, aumento de vida útil do produto e melhoria do valor nutricional. Assim, o aproveitamento desses subprodutos pode representar uma alternativa para diminuir a poluição ambiental e minimizar prejuízos para a indústria que necessita encontrar um destino para tais rejeitos, além de aprimorar aspectos de composição e conservação de alimentos.

A maioria dos ingredientes com potencial para serem usados como substitutos de gordura são à base de carboidratos, como gomas, amidos e fibras dietéticas. Eles normalmente apresentam alguma solubilidade em água, e têm propriedades

emulsificantes, espessantes e de gelificação; além de serem de baixo custo, baixa toxicidade e alta disponibilidade.

O pigmento vermelho presente na polpa e na casca da pitaya, conhecido como betacianina, é de grande interesse para a pesquisa, já que pode ser usado como substituto de corantes sintéticos. Esse não apresenta efeitos tóxicos e é um composto com benefícios para a saúde humana. Além disso, a principal fonte comercial de betacianinas é a beterraba, no entanto ela fornece um desagradável sabor de terra ao corante, o que desfavorece sua aplicação.

Os pigmentos obtidos a partir de fontes naturais variam em suas propriedades físicas e químicas, sendo sensíveis à luz, oxidação, pH e temperatura; o que os tornam menos estáveis que os corantes artificiais. Portanto, métodos para aumentar a estabilidade e otimizar o uso de tais compostos precisam ser avaliados. Técnicas como a microencapsulação pode representar uma alternativa viável na indústria de alimentos, com objetivo de proteger e propiciar a aplicação desses ingredientes em diferentes alimentos.

Agentes de proteção como a maltodextrina já são amplamente utilizados no encapsulamento de compostos, no entanto combinações de diferentes materiais de parede podem ser feitas a fim de aperfeiçoar a técnica e melhorar as propriedades do produto final. Ingredientes obtidos a partir de resíduos podem ser uma alternativa viável para a indústria na produção de microcápsulas.

Dessa forma, torna-se importante o estudo do aproveitamento da casca e da polpa da pitaya vermelha para obtenção de novos ingredientes como substitutos de gordura e corantes naturais, os quais podem ser utilizados pela indústria de alimentos, a fim de melhorar aspectos sensoriais, tecnológicos e nutricionais de diversos produtos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Uso da polpa e casca da pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) para a obtenção de novos ingredientes, tais como corante natural e substituto de gorduras.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinação da composição centesimal do fruto de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*);
- Obtenção e caracterização da farinha da casca de pitaya vermelha;
- Aplicação da farinha obtida da casca na elaboração de sorvetes com redução de gordura;
- Avaliação do uso de diferentes combinações de materiais de parece como mucilagem ou gelatina com maltodextrina na encapsulação de betalaínas da polpa de pitaya;
- Avaliação da estabilidade e caracterização das microcápsulas de betalaínas;
- Aplicação das microcápsulas em iogurtes e avaliação da estabilidade durante a vida de prateleira do produto.

A presente dissertação está apresentada no formato de Capítulos, os quais foram divididos do seguinte modo: Revisão Bibliográfica e Fundamentação Teórica, onde se apresentam as principais contribuições científicas relacionadas a pitaya, pigmentos naturais, métodos de encapsulamento, materiais de parede usados no encapsulamento e aproveitamento de resíduos gerados pela indústria de alimentos; Metodologia, com a descrição dos procedimentos experimentais e métodos utilizados no desenvolvimento da dissertação; Resumo expandido intitulado “Caracterização centesimal das pitayas de polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*) produzidas no Rio Grande do Sul” apresentado no 6º Simpósio de Segurança Alimentar; Artigo científico intitulado “Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream”; Artigo intitulado “Microencapsulation of betalains from red pitaya pulp (*Hylocereus polyrhizus*) by spray-drying with different encapsulating agents”; Discussão Geral com abordagem dos resultados dos artigos apresentados e Conclusões.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Pitaya

A pitaya é um fruto tropical pertencente à família de cactos, *Cactaceae*, nativa das regiões do México e das Américas Central e do Sul, sendo cultivada em países como Costa Rica, Venezuela, Panamá, Uruguai, Brasil e Colômbia (DE ANDRADE; MARTINS; SILVA, 2008; LEONG et al., 2018; WU et al., 2006). No Brasil, o início do seu cultivo foi no estado de São Paulo, a partir da década de 1990, seguindo por outros estados como Paraíba e Ceará (NOGUEIRA-NUNES et al., 2014). Hoje, já existe produção e comercialização do fruto no Rio Grande do Sul. O interesse pelo seu cultivo tem aumentado, por ser um fruto exótico ainda pouco explorado e também devido às suas propriedades nutricionais e organolépticas (DE ANDRADE; MARTINS; SILVA, 2008; ORTIZ; TAKAHASHI, 2015).

Popularmente a pitaya é conhecida como fruta do dragão, devido ao seu formato e à sua pele brilhante coberta de “escamas”, sendo valorizada pelas características que apresenta, como alto valor nutricional, aparência atrativa e propriedades antioxidantes (MAHAYOTHEE et al., 2018; WU et al., 2006). Já foram identificadas pelo menos 14 espécies de pitaya, de diferentes cores de polpa e casca. Entretanto, as três variedades mais cultivadas e encontradas comercialmente ao redor do mundo são: a pitaya de polpa branca e casca amarela (*Hylocereus megalanthus*), a pitaya de polpa branca e casca vermelha (*Hylocereus undatus*) e a pitaya de polpa vermelha e casca vermelha (*Hylocereus polyrhizus*). O gênero *Hylocereus* é endêmico para a América Latina e tem sido o foco das principais pesquisas sobre esse fruto (CUNHA et al., 2018; LE BELLEC; VAILLANT; IMBERT, 2006; TSAI et al., 2019).

As espécies de *Hylocereus* prosperam sob diferentes condições ecológicas, como em regiões de climas muito quentes (40°C), mas em temperaturas abaixo de 12°C pode ocorrer necrose dos caules; crescem em locais ensolarados ou sombreados, porém climas desérticos com escassez de água levam à queima das hastes e são de fácil adaptação a diferentes tipos de solos. A grande capacidade de crescimento em diferentes ambientes é associada à sua alta resistência a condições de estresse (LE BELLEC; VAILLANT; IMBERT, 2006; MERCADO-SILVA, 2018). A pitaya é um fruto não-climatérico, que deve ser colhido após um tempo mínimo de amadurecimento para

permitir o desenvolvimento de sabor. A durabilidade do fruto é menor do que 10 dias em temperatura ambiente, mas se armazenado sob refrigeração (em torno de 5°C) pode ter uma validade de 25 a 30 dias (ZEE et al., 2004). Contudo, a fim de aumentar sua aplicação, disponibilidade e vida útil pode passar por vários tipos de processos, como congelamento, desidratação, concentração, fermentação, tratamentos térmicos e conservação química (ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012).

Frutos desse gênero despertam muito interesse como fonte de cor e de nutrientes para a indústria de alimentos e de cosméticos. Já foi relatado que algumas espécies possuem propriedades antiinflamatórias e são efetivas na diminuição do risco de doenças como diabetes, câncer e doenças cardiovasculares, além de serem fontes de antioxidantes naturais (ZHUANG; ZHANG; SUN, 2012).

Mais especificamente, o fruto da pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) é grande em tamanho, tem formato oval e pesa entre 300 e 600 gramas, apresentando uma polpa suave e doce com pequenas sementes pretas e uma intensa coloração vermelho-roxa na polpa e na casca (NURUL; ASMAH, 2014; WONG; SIOW, 2015). A polpa representa de 60 a 80% do peso total do fruto maduro, o conteúdo de sólidos solúveis varia de 12 a 14 °Brix e sua acidez é baixa. Essa espécie possui quantidades significativas de betalaínas, pigmento responsável pela sua cor, e de fibras, além de um elevado conteúdo de compostos fenólicos (MERCADO-SILVA, 2018; RUBNER-INSTITUT, 2011).

Ainda, a pitaya de polpa vermelha, também conhecida como fruto do dragão vermelho, é fonte de vitaminas, como a vitamina C, oligossacarídeos com propriedades prebióticas, o que possibilita seu uso como ingrediente funcional, e contém alta quantidade de minerais, especialmente sódio, potássio, magnésio, fósforo, zinco e ferro (MAHAYOTHEE et al., 2018; MOHD ADZIM et al., 2006; WICHIENTHOT; JATUPORNPIPAT; RASTALL, 2010).

O cultivo dessa espécie é crescente pelo mundo inteiro. Só na Índia já foi relatada produção de aproximadamente 150 toneladas de pitaya por ano. Assim, a grande quantidade de resíduos do processamento da polpa do fruto gerada pela indústria pode se tornar um problema ambiental (THIRUGNANASAMBANDHAM; SIVAKUMAR, 2015). Esse resíduo, que surge na forma de casca, contém consideráveis quantidades de compostos fenólicos, betalaínas, pectina e fibra dietética (JAMILAH et al., 2011; WU et al., 2006), o que permite seu reaproveitamento de diversas formas, como agente



espessante, antioxidante e fonte de fibras, o que pode ser usado para enriquecer nutricionalmente e sensorialmente diversos tipos de alimentos.

### 3.2 Pigmentos naturais

A cor afeta a aparência dos alimentos, sendo diretamente relacionada à percepção de qualidade (DOWNHAM; COLLINS, 2000). Muitos alimentos naturalmente coloridos perdem cor quando são submetidos a processamentos industriais, o que requer uso de corantes para restauração da cor; outros produtos necessitam de sua adição para despertarem a atenção e serem atrativos ao consumidor (AZEREDO, 2009).

Os pigmentos são compostos químicos que absorvem luz na região de comprimento de onda visível e produzem cor. Tais compostos estão presentes nas folhas, frutas, vegetais e flores, sendo classificados de acordo com a origem em: natural, produzido por organismos vivos; ou sintético idêntico aos naturais, obtido em laboratório (DELGADO-VARGAS et al., 2000). A preferência dos consumidores por produtos naturais e com menor uso de aditivos químicos, aliada aos relatos de alguns efeitos nocivos associados ao consumo de corantes sintéticos, contribuem para o aumento da demanda do uso dos pigmentos naturais (CELLI; BROOKS, 2017; DOWNHAM; COLLINS, 2000). Além disso, o crescente interesse por processos de produção sustentável de alimentos também contribui a favor do mercado dos corantes naturais, o que estimula a pesquisa e o desenvolvimento de fontes alternativas desses ingredientes (CAI; SUN; CORKE, 2005).

No entanto, os corantes naturais não apresentam a mesma estabilidade quando comparados aos artificiais, pois são propensos à degradação por fatores internos e externos, tais como: luz, alterações de pH e temperatura. Existem estudos contínuos para melhorar a estabilidade e as propriedades dos pigmentos naturais, através do uso de novas tecnologias (DOWNHAM; COLLINS, 2000).

Existe uma gama de pigmentos naturais em frutos e vegetais tais como antocianinas, betalaínas, carotenoides e clorofilas, os quais conferem diferentes tonalidades de cores. A maioria deles tem atividades farmacológicas benéficas bem conhecidas, as propriedades antioxidantes, que podem atuar na prevenção de diversos tipos de doenças, como câncer e doenças cardiovasculares. Existem inúmeras diferenças entre esses compostos, mas alguns apresentam características semelhantes. Carotenoides

e clorofilas estão localizados nos plastídios das células vegetais, já as antocianinas e betalaínas são depositados no vacúolo, por exemplo (AZEREDO, 2009; DELGADO-VARGAS et al., 2000; STINTZING; CARLE, 2004).

Ainda, a solubilidade destes compostos é muito variável. Alguns são solúveis em água, como as antocianinas, as betalaínas e o ácido carmínico; outros em óleo, como os carotenoides (DOWNHAM; COLLINS, 2000; LEONG et al., 2018). Carotenoides são responsáveis pelas cores amarela, laranja e vermelha, e são encontrados em vegetais como tomate, cenoura, laranja, manga. Dentre os carotenoides, o mais comum é o  $\beta$ -caroteno, precursor da vitamina A, que possui efeito benéfico na visão (DELGADO-VARGAS et al., 2000).

A presença de antocianinas impede a existência de betalaínas na mesma espécie da planta. Antocianinas produzem tons de laranja-vermelho a azul violeta, e são encontradas em frutas vermelhas como o morango, em uvas, amoras e mirtilos. As betalaínas são encontradas na beterraba e em flores e frutos de cactos, e conferem cor amarela, vermelha e violeta (STINTZING; CARLE, 2004).

Em comparação às antocianinas, as betalaínas são mais hidrofílicas e adequadas para aplicação em alimentos pouco ácidos devido a sua melhor estabilidade em uma ampla faixa de pH (CELLI; BROOKS, 2017). Pesquisas sobre a utilização de betalaínas, mais especificamente as betacianinas, como corantes em sistemas alimentares são limitadas, e são essenciais para demonstrar sua potencialidade (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2017).

### 3.2.1 *Betalaínas*

Betalaínas são pigmentos nitrogenados solúveis em água, derivados do ácido betalâmico. Podem ser divididas em dois grandes grupos estruturais, as betacianinas (vermelho ao violeta) e as betaxantinas (amarelo). A natureza do radical adicionado ao ácido betalâmico determina a classificação do pigmento como betacianina ou betaxantina, conforme mostrado na figura abaixo (Figura 1). As diferenças estruturais refletem na mudança da aparência dos subgrupos de betalaínas. Betacianinas contêm um radical ciclo-3,4-di-hidroxifenilalanina (ciclo-Dopa), e betaxantinas apresentam um radical amina ou grupo aminoácido. A presença do anel aromático no radical ciclo-Dopa altera a absorção máxima de radiação visível de 480 nm (amarelo, betaxantinas)

para próximo de 540 nm (violeta, betacianinas) (AZEREDO, 2009; CAI; SUN; CORKE, 2005; STRACK; VOGT; SCHLIEMANN, 2003).

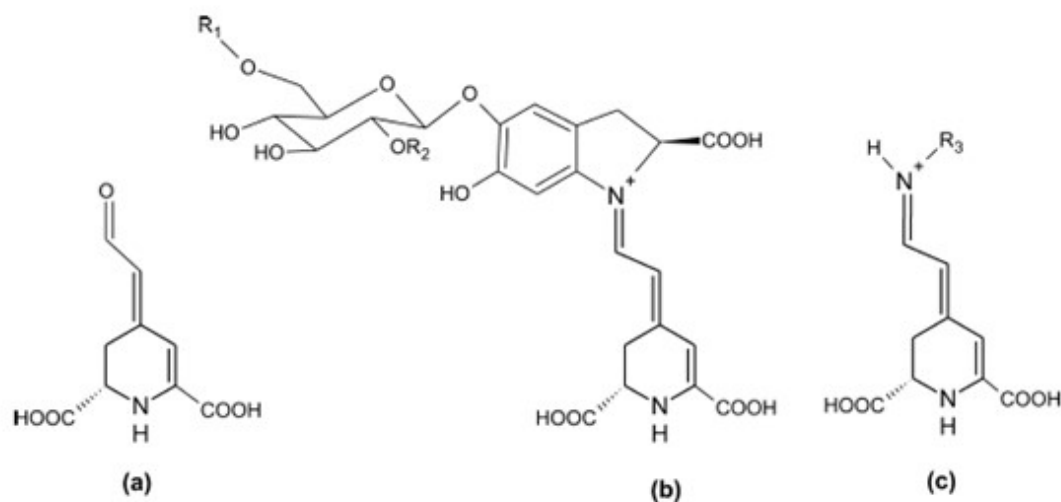


Figura 1. Estrutura geral do ácido betalâmico (a), betacianinas (b) e betaxantinas (c).  
Betanina:  $R_1 = R_2 = H$ .  $R_3 =$  amina ou grupo aminoácido (AZEREDO, 2009)

As betalainas podem ser encontradas em raízes, frutos e flores. Fontes comuns são a beterraba (*Beta vulgaris*), o amaranto (*Amaranthaceae*), frutos de cactos como do gênero *Opuntia* e pitayas do gênero *Hylocereus* (GÜNEŞER, 2015). Além de sua função de coloração, esses pigmentos naturais exercem diversas atividades biológicas tanto em plantas quanto em seres humanos, o que os tornam mais atrativos para aplicação e consumo. Já foi relatado que tais pigmentos possuem atividade antiviral, antiinflamatória e antimicrobiana, além de efeitos antiproliferativos e cardioprotetores. Entretanto, a ação das betalainas é dependente das condições ambientais em que se encontram, e também das suas propriedades químicas (CELLI; BROOKS, 2017; GONÇALVES et al., 2013; STINTZING; CARLE, 2004).

Betacianinas são conhecidas por ser quimicamente mais estáveis que as betaxantinas. Dentre as betacianinas, a betanina é o principal composto (CASTELLAR et al., 2003; LEONG et al., 2018). Devido às antocianinas serem semelhantes às betacianinas, podem ser utilizados os mesmos métodos de extração para análise quantitativa destes compostos (NADERI et al., 2012). De um modo geral, tais pigmentos são solúveis em três solventes polares comuns e suas misturas: água, metanol e etanol, sendo o metanol mais usualmente utilizado. A adição de ácido ascórbico ao

meio, por exemplo, é altamente recomendada para extração, a fim de reduzir o pH, o que aumenta a estabilidade dos pigmentos e inibe uma possível oxidação por enzimas, como as polifenoloxidasas (MORENO et al., 2008).

As betalaínas apresentam diferentes aplicações em alimentos, sendo utilizadas em confeitos, sobremesas, misturas secas, laticínios e produtos cárneos. A concentração do composto puro necessária para obter a tonalidade desejada é relativamente pequena, raramente excedendo 50 mg/kg, calculada como betanina (AZEREDO, 2009; DELGADO-VARGAS et al., 2000). De acordo com o Codex Alimentarius (2004), o uso da betalaína é limitado apenas pelas Boas Práticas de Fabricação.

Estes pigmentos obtidos a partir da beterraba podem apresentar odores desagradáveis como de terra (LEONG et al., 2018). Em substituição, o pigmento extraído dos frutos de cactos pode ser usado em alimentos sem provocar um efeito negativo no odor e sabor, além de o sabor suave ter um efeito prejudicial no potencial mercadológico dos frutos de cactos, tornando sua utilização como corante mais propícia. As polpas dos frutos dos cactos *Hylocereus* contêm altas concentrações de betacianinas (0,23-0,39%) (AZEREDO, 2009; CASTELLAR et al., 2003).

Em um estudo de Naderi *et al.*(2012), a concentração de betacianinas encontrada de 811 mg/L de suco de pitaya puro foi maior em comparação a da beterraba vermelha. Lim *et al.*(2011) avaliaram o efeito do pH e da temperatura na extração do pigmento da polpa da pitaya vermelha e obtiveram a maior concentração em aquecimento a 70 °C com água destilada em pH 6 por 5 minutos.

Jamilah *et al.*(2011) quantificaram o teor de betacianinas da casca do fruto do dragão vermelho e encontraram uma concentração de 150,46 mg por 100g de matéria seca, valor similar ao do pó comercial da beterraba, indicando o potencial corante desse resíduo. A degradação térmica do extrato da casca do fruto também foi avaliada em temperaturas de 50, 60 e 70 °C em um período de 2 horas, seguindo uma reação de primeira ordem em que quanto mais alta a temperatura, mais rápida se mostrou a perda de pigmentação (PRIATNI; PRADITA, 2015).

### 3.2.2 Estabilidade das betalaínas

A estabilidade das betalaínas é afetada pela temperatura, pH, oxigênio, luz e atividade de água, sendo a temperatura o fator mais crítico relacionado (CELLI;

BROOKS, 2017; GONÇALVES et al., 2013; PEDREÑO; ESCRIBANO, 2001; TSAI et al., 2010). A degradação do pigmento aumenta em altas temperaturas, sendo que em valores acima de 40°C já existe perda de pigmentação (FARIDAH; HOLINESTI; SYUKRI, 2015). A estabilidade térmica das betalaínas é influenciada pela temperatura aliada ao tempo de aquecimento a que elas são submetidas (HERBACH et al., 2006).

A coloração sob condições de aquecimento pode mudar de vermelho para laranja ou amarelo, e essa degradação acontece devido a oxidação, hidrólise e descarboxilação da betanina. A termoestabilidade da betanina é também dependente do pH e parcialmente reversível (DELGADO-VARGAS et al., 2000; GONÇALVES et al., 2013).

Em relação ao pH, elas se mantêm estáveis em uma ampla faixa de valores de 3 a 7 (LEONG et al., 2018; MERCADO-SILVA, 2018; STINTZING; CARLE, 2004). No entanto, condições além desse intervalo induzem prontamente a degradação das betalaínas. Em meio básico pode ocorrer a hidrólise da betanina ao ácido betalâmico, já a acidificação induz a recondensação do ácido betalâmico e do radical ciclo-Dopa. Além disso, o pH se torna mais estável entre 5,5 e 5,8 quando a betanina está em contato com oxigênio, enquanto em condições anaeróbicas valores entre 4,0 e 5,0 são mais convenientes (HERBACH et al., 2006; JACKMAN; SMITH, 1996).

As betalaínas são suscetíveis a deterioração por inúmeras fontes de radiação. Estudos afirmam que a absorção de luz em faixa UV e visível provoca excitação dos elétrons do cromóforo do pigmento a um estado mais energético, causando uma maior reatividade ou menor energia de ativação para a molécula. Altas doses de irradiação gama também resultam na degradação de cor (JACKMAN; SMITH, 1996).

Altos valores de atividade de água também aceleram a degradação desses compostos. A degradação do pigmento aumenta significativamente em alimentos com atividade de água entre 0,32 e 0,75. E o aumento da estabilidade em valores baixos é atribuído a mobilidade de reagentes ou a solubilidade limitada de oxigênio (DELGADO-VARGAS et al., 2000).

Em produtos industrializados, fatores tais como concentração do corante, constituintes da matriz, agentes quelantes, antioxidantes e composição da atmosfera afetam na estabilidade do pigmento. Para garantir a melhor pigmentação e retenção de cor, condições de tempo e temperatura específicas de fabricação devem ser cuidadosamente controladas (MORENO et al., 2008).

### 3.3 Encapsulação

A técnica de encapsulamento é uma metodologia efetiva para proteger compostos bioativos de condições ambientais durante o processamento e armazenamento de alimentos. A encapsulação baseia-se no princípio de aprisionar uma ou mais substâncias (agentes ativos) dentro de um agente encapsulante (material de parede). Tal técnica tem sido usada a mais de 60 anos pela indústria de alimentos, e pode ser definida como uma tecnologia de embalagem de sólidos, líquidos ou materiais gasosos em pequenas cápsulas que libertam o seu conteúdo a taxas controladas durante períodos prolongados e sob condições específicas (DESAI; JIN PARK, 2005; NEDOVIC et al., 2011; RODRIGUEZ et al., 2016).

O principal objetivo da encapsulação é proteger o agente ativo de diversas condições ambientais, como efeitos de luz, umidade e oxigênio, através da criação de uma barreira física, para prolongar assim sua vida útil e preservar sua bioatividade (FANG; BHANDARI, 2010; RODRIGUEZ et al., 2016). Mais especificamente, visa preservar a estabilidade de compostos e também prevenir interações indesejáveis com a matriz dos alimentos, com manutenção de sua funcionalidade. Além disso, pode ser aplicada para modificar características físicas do material original a fim de permitir uma fácil manipulação, ajudar a separar componentes de uma mistura que possam interagir entre si, proporcionar uma concentração adequada e dispersão uniforme de um agente ativo (DESAI; JIN PARK, 2005; NEDOVIC et al., 2011).

Microcápsulas apresentam tamanho entre 1-1000  $\mu\text{m}$  e podem apresentar diferentes morfologias. Em geral, são cápsulas mononucleares, as quais têm um único núcleo envolvido por uma concha, ou agregadas, com muitos núcleos incorporados. Sua especificidade em diferentes sistemas é influenciada pela tecnologia de processamento, pelo núcleo e material de parede a partir dos quais as cápsulas são produzidas (FANG; BHANDARI, 2010; SCHROOYEN; VAN DER MEER; DE KRUIF, 2001). Os agentes encapsulantes mais comumente utilizados são polissacarídeos, como as gomas ou maltodextrina; proteínas, como a gelatina ou as proteínas do soro de leite; ou lipídios (DELIA et al., 2019; TUPUNA et al., 2018).

A fim de minimizar a ação de fatores de degradação e otimizar a aplicação das betalaínas, a encapsulação pode ser utilizada, para garantir proteção dos pigmentos. Existem várias técnicas disponíveis para encapsulação de ingredientes alimentícios, sendo que muitas delas baseiam-se na secagem, como *spray-drying*, liofilização,

coacervação, inclusão molecular, extrusão e secagem em leite fluidizado (BAZARIA; KUMAR, 2016). Na indústria de alimentos, a técnica por *spray drying* é a mais utilizada por ser simples e por apresentar baixo custo operacional quando comparada com as demais (DESAI; JIN PARK, 2005; FANG; BHANDARI, 2010).

### 3.3.1 *Spray drying*

Uma das tecnologias industriais mais utilizadas para a encapsulação é a secagem por atomização (*spray drying*), sendo que aproximadamente 90% dos produtos microencapsulados são obtidos a partir desse processo. É um método econômico, rápido e efetivo para proteção de materiais. Na indústria de alimentos, é comumente utilizado para a produção de aditivos desidratados estáveis. Os ingredientes secos são valorizados pela sua conveniência e estabilidade na vida útil (AUGUSTIN; HEMAR, 2009; FANG; BHANDARI, 2010; TUPUNA et al., 2018).

O princípio deste método consiste em dissolver o núcleo em uma dispersão de um material de parede selecionado, em seguida atomizar em ar quente e assim promover a remoção do solvente. Em contato com o ar quente, as partículas adquirem o formato esférico (AZEREDO, 2005; DE VOS et al., 2010). No entanto, os pós obtidos se tornam materiais amorfos, ficando assim suscetíveis a mudanças em suas propriedades físicas (BAZARIA; KUMAR, 2016).

A eficiência do processo de encapsulação por *spray drying* e a qualidade do produto obtido dependem de fatores como: as condições de encapsulação (temperaturas de entrada e saída do ar, taxa de fluxo de alimentação, pressão de atomização), o tipo de bico atomizador, a concentração de sólidos, o tipo de matriz e de agente de proteção utilizado. A estrutura, o estado do material, tamanho, uniformidade e forma das partículas secas são algumas das propriedades que influenciam a capacidade de retenção de compostos bioativos. Assim, é muito importante estabelecer as condições de armazenamento necessárias para manter a estabilidade dos pós secos (MÉNDEZ-LAGUNAS et al., 2013; OTÁLORA et al., 2015).

Compostos como a maltodextrina, gomas, amido modificado e outros tipos de polissacarídeos são hidratados e utilizados como materiais de parede. Uma linha de grande interesse de pesquisa é a busca de materiais de parede de fontes alternativas e de menor custo (DESAI; JIN PARK, 2005; FANG; BHANDARI, 2010).

A secagem do extrato do fruto da pitaya por atomização pode ser utilizada para produção e estabilização de seus pigmentos. Entretanto, ainda existe pouca informação a respeito de como os agentes encapsulantes e as condições de secagem podem influenciar nas propriedades físico-químicas do extrato em pó do fruto como corante natural (TZE et al., 2012).

Lee; Wu; Siow (2013) estudaram a encapsulação do suco da pitaya vermelha e branca por *spray drying* com diferentes concentrações de maltodextrina e obtiveram um alto rendimento de pó usando temperaturas de entrada do ar do equipamento entre 110 e 120°C e concentração de maltodextrina de 30% (p/v). As propriedades do pó referentes à atividade de água, solubilidade, densidade e cor obtidas foram adequadas para seu uso em alimentos. A técnica ocasionou uma perda significativa do conteúdo de betalaínas nos encapsulados da pitaya vermelha, mas manteve ainda potencial de pigmentação.

Esse método também foi utilizado por Bakaret *al.*(2013) para desenvolvimento de microcápsulas da casca da pitaya vermelha. Nesse estudo, os pesquisadores relataram estabilidade do pigmento da betacianina no pó produzido, quando este foi seco a temperaturas entre 155 e 175 °C, com a melhor condição a 165 °C e com uso de 15% de maltodextrina. O produto final obtido foi de cor rosa, com elevada retenção de pigmento e baixa umidade.

Em outro estudo, pesquisadores extraíram as betalaínas do fruto da pitaya e encapsularam com amido de batata comercial e modificado, utilizando a técnica de *spray drying*. As microcápsulas desenvolvidas com amidos modificados apresentaram uma boa estabilidade, com perdas em torno de 23% do pigmento quando armazenadas a 40°C durante 39 dias. Ao serem aplicadas em iogurte também mostraram estabilidade ao longo de 32 dias de armazenamento a 4°C (VARGAS-CAMPOS et al., 2018).

### 3.4 Materiais de parede

Muitos componentes alimentares podem ser utilizados como materiais de parede para encapsulação, dependendo das suas características de solubilidade, viscosidade e propriedades de emulsificação. Porém, os materiais utilizados como encapsulantes precisam ser selecionados a partir de uma diversidade de biomateriais ou aditivos químicos que sejam avaliados como seguros (GRAS – Generally Recognized as Safe) (AUGUSTIN; HEMAR, 2009).



Compostos à base de carbono, como amidos, gomas e dextrinas são bastante utilizados como agente encapsulante, principalmente devido a sua diversidade, baixo custo e grande uso em alimentos. Eles têm ainda propriedades desejáveis como boa solubilidade e baixas viscosidades em alto conteúdo de sólidos (MADENE et al., 2006).

Para sua aplicação na encapsulação, esses materiais precisam ter boas propriedades de dispersão em soluções aquosas, e essas dispersões devem ser homogêneas para que possam ser secas por atomização, por exemplo. Hidrocoloides como o alginato podem reagir com íons de cálcio e formar um gel estável. Gomas e espessantes podem ter efeito pronunciado sobre o aroma e sabor dos alimentos. Os amidos formam pastas ao serem aquecidos em água, aumentando a viscosidade da dispersão e podendo dificultar o processo de encapsulação. E a maltodextrina tem uma boa relação custo-benefício, é de sabor suave e está disponível em diferentes massas moleculares (GIBBS et al., 1999; KENYON, 1995; MADENE et al., 2006).

Já materiais a base de proteínas, como proteína de soja, derivados de leite e de gelatina são constituídos de aminoácidos e são capazes de formar emulsões estáveis, cujas propriedades são influenciadas pela sua composição, conformação e carga, bem como pela temperatura de desnaturação. A gelificação e a agregação das proteínas permitem o desenvolvimento de redes com ingredientes acoplados internamente, e a estrutura do gel formado torna-se a matriz para incorporação de núcleos ativos (AUGUSTIN; HEMAR, 2009; GIBBS et al., 1999).

Combinações de diferentes materiais de parede são extensivamente estudadas atualmente e a seleção desses componentes envolve pesquisas onde são avaliadas a eficiência da encapsulação, a estabilidade em diferentes condições de armazenamento e a capacidade de proteção ao núcleo, entre outros fatores (PÉREZ-ALONSO et al., 2003; ZUANON; MALACRIDA; TELIS, 2017).

A encapsulação por liofilização de betalainas da casca da pitaya vermelha com o uso de combinações de maltodextrina, goma arábica e pectina foi estudada por Rodriguez *et al.* (2016). Segundo os autores a junção dos dois materiais proporcionou um alto rendimento e eficiência aos encapsulados, indicativo da boa capacidade de aprisionar o material do núcleo dentro das micropartículas. Os liofilizados com maltodextrina e goma arábica e com maltodextrina e pectina mantiveram maior atividade antioxidante em comparação aos extratos não encapsulados.

### 3.4.1 Gelatina

A gelatina é um produto desnaturado ou parcialmente hidrolisado do colágeno, uma proteína de estrutura fibrosa encontrada na pele, ossos e tecido conjuntivo de animais. Possui alta versatilidade em diferentes setores da indústria alimentícia e farmacêutica. As propriedades funcionais da gelatina dependem do tipo de matéria-prima, pré-tratamento, métodos de secagem e condições de extração usadas, além da estrutura química das proteínas e seu estado de associação (DILLE; HATTREM; DRAGET, 2016; KANWATE; BALLARI; KUDRE, 2019; SINTHUSAMRAN; BENJAKUL; KISHIMURA, 2015).

A grande disponibilidade desse biopolímero e seu baixo custo facilitam a sua utilização em uma variedade de aplicações (ETXABIDE et al., 2017). No campo nutracêutico, a gelatina, em conjunto com glicerol e água, é gerada como resíduo da fabricação de cápsulas gelatinosas. Sendo assim, há necessidade de seu tratamento e eliminação ou reutilização para controle da poluição ambiental (IAHNKE et al., 2016).

A gelatina tem boas propriedades gelificantes e de superfície, como estabilização de espumas e emulsões, além de funcionar como barreira à luz e oxigênio. Tem sido assim muito utilizada para melhorar a consistência e estabilidade de produtos alimentícios (DE MORAES CRIZEL et al., 2018; SINTHUSAMRAN; BENJAKUL; KISHIMURA, 2015). Essas características a tornam um possível potencial agente encapsulante para proteção de compostos bioativos.

Mudanças químicas e físicas das proteínas influenciam significativamente em suas características de solubilidade, propriedades de absorção de água, de gelificação e emulsificação (KANWATE; BALLARI; KUDRE, 2019). Dessa forma, qualquer tipo de processamento aplicado pode acarretar em mudanças na conformação estrutural da gelatina, e as condições devem ser bem estudadas.

Microcápsulas de compostos fenólicos da ameixa com diferentes combinações de materiais de parede incluindo maltodextrina com gelatina foram produzidas por Tang *et al.* (2018). Os autores avaliaram que as diferentes combinações de agentes encapsulantes utilizadas melhoraram a qualidade das cápsulas em relação ao teor de umidade, rendimento e estabilidade em comparação ao pó desenvolvido a partir do fruto sem uso de nenhum material. No entanto, o uso da gelatina reduziu a intensidade de cor das cápsulas e seu conteúdo de fenólicos.

Baranauskaite; Kopustinskiene e Bernatoniene (2019) estudaram o efeito da gelatina suplementada com goma arábica, Tween 20 e  $\beta$ -ciclodextrina na encapsulação de extrato de orégano por *spray-drying*. Os pesquisadores obtiveram altos resultados de rendimento e eficiência de encapsulação, além de um aumento na liberação *in vitro* dos principais compostos bioativos presentes no orégano.

### 3.4.2 Mucilagem

Gomas polissacarídicas ou hidrocoloides são polímeros constituídos de longas cadeias bastante dispersivos e com capacidade de inchamento em água. São amplamente utilizados pela indústria alimentícia como agentes de corpo, espessantes, estabilizantes e emulsificantes. Já existem relatos que plantas nativas como os cactos podem ser importantes fontes naturais desses compostos. Plantas da família *Cactaceae*, por exemplo, são caracterizadas pela presença de uma substância mucilaginosa em seus cladódios ou frutos (DICK et al., 2019; THANATCHA; PRANEE, 2007).

Mucilagens são carboidratos (polímeros) de natureza complexa, com estrutura altamente ramificada e com duas frações distintas solúveis em água (THANATCHA; PRANEE, 2007). A composição das mucilagens é à base de fibras alimentares. Dependendo da origem, sua estrutura é variável. Espécies de *Opuntia* possuem mucilagens com estrutura complexa de unidades de galactose ligadas com ácido galacturônico, xilose, ramnose e arabinofuranose. O polissacarídeo da espécie *Pereskiaaculeata* Miller é composto de arabinofuranose, arabinopirranose, galactopirranose, ácido galactopiranosil urônico e unidades de ramnopirranose. É um polímero com excelentes propriedades para ser usado como aditivo pela indústria de alimentos (AMARAL et al., 2019; SÁENZ; SEPÚLVEDA; MATSUHIRO, 2004).

A mucilagem extraída de cladódios da *Opuntia ficus-indica* tem ótimas propriedades emulsificantes e já foi usada para prolongar a vida útil de produtos alimentícios. Além disso, alguns estudos já afirmaram que este polímero possui um efeito de proteção no encapsulamento de compostos (OTÁLORA et al., 2015; SAÉNZ et al., 2009).

Esses hidrocoloides são capazes de formar agregados moleculares, e em soluções aquosas, sua viscosidade é variável e dependente de alguns fatores como pH, temperatura e concentração de íons (ESPINO-DÍAZ et al., 2010). Assim, as quantidades

e os produtos nos quais a mucilagem pode ser aplicada devem ser cuidadosamente selecionados. Ainda, as interações entre os polímeros e o meio de dispersão desempenham uma função importante em diversas aplicações em sistemas alimentares (AMARAL et al., 2019).

Microcápsulas de betalaínas produzidas com mucilagem a partir de frutos de cactos apresentaram uma alta retenção de pigmento depois de três meses de armazenamento em temperatura ambiente, indicando o seu potencial como material de parede (DELIA et al., 2019). Ainda, a encapsulação do mesmo composto da *Opuntia ficus-indica* utilizando a combinação de maltodextrina e mucilagem melhorou algumas propriedades dos pós, tais como a eficiência de encapsulação, uniformidade do tamanho de partícula e conteúdo de umidade e de fibras em comparação ao uso de somente maltodextrina como agente protetor; contudo a estabilidade ao longo de diferentes condições de armazenamento se mostrou inferior (OTÁLORA et al., 2015).

Neste trabalho, a mucilagem extraída da casca da pitaya vermelha será testada como agente de proteção na encapsulação dos pigmentos extraídos a partir da polpa do mesmo fruto.

### 3.5 Aproveitamento de resíduos

As grandes quantidades de resíduos geradas pela indústria de alimentos ocasionam sérios problemas econômicos e ambientais. A fim de solucionar essas questões, está se desenvolvendo a cultura do reaproveitamento e uso dos resíduos industriais como matéria-prima para novos produtos e aplicações (ETXABIDE et al., 2017). Entre esses compostos estão, por exemplo, as cascas, sementes e bagaços de frutas e vegetais.

Perspectivas por meio das tecnologias existentes prometem a recuperação, reutilização e sustentabilidade de ingredientes de alto valor agregado dentro da cadeia alimentar. As fontes de ingredientes funcionais derivados do processamento de produtos agrícolas e alimentares são abundantes, concentradas em poucos locais e menos suscetíveis à deterioração se comparadas com as originadas da preparação de refeições caseiras, por exemplo (GALANAKIS, 2012).

Os resíduos gerados das indústrias que processam frutos e vegetais estão entre os mais estudados devido ao fato de serem fontes de antioxidantes e fibras dietéticas (GALANAKIS, 2012; IAHNKE et al., 2016). A extração desses compostos químicos de

alto valor agregado está se tornando cada vez mais comum, o que conduz a boas perspectivas econômicas para os resíduos alimentares (RAVINDRAN; JAISWAL, 2016).

Assim, torna-se interessante o estudo da aplicação desses subprodutos nos mais diversos tipos de alimentos. O grande desafio é obter um produto de qualidade, seguro e com boas características sensoriais para ser aceito pelo público consumidor, e ainda preservar os compostos bioativos oriundos do resíduo no produto final.

As fibras dietéticas podem ser incorporadas em produtos alimentícios como ingredientes não calóricos para reposição parcial de farinha, gordura e açúcar e ainda ajudar na redução do risco de doenças crônicas como doenças cardiovasculares, câncer e obesidade. A inulina, por exemplo, é uma fibra dietética solúvel já conhecida e utilizada para redução da gordura em produtos como bolos, chocolates e derivados de leite (GALANAKIS, 2012; MENDOZA et al., 2001).

A transformação de resíduos contendo fibras em farinha e sua adição aos alimentos promove a redução do teor de água livre dos mesmos, aumentando a sua vida de prateleira, além de enriquecê-los nutricionalmente (LEÃO et al., 2017). A casca da pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) é um resíduo resultante da extração da polpa ou processamento do suco do fruto, por exemplo, e representa 33% do seu peso. O volume de casca da pitaya descartado mundialmente é em torno de 0,8 a 4 toneladas de matéria fresca por hectare, tornando esse fruto uma fonte geradora de resíduos, o qual pode ser reaproveitado (CHIA; CHONG, 2015; TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012).

Já foi relatado que as cascas dos frutos do gênero *Hylocereus* apresentam maior teor de compostos fenólicos do que as polpas, e que isso se relaciona diretamente com a maior eliminação dos radicais livres (NURLIYANA et al., 2010). Jamilah *et al.* (2011) caracterizaram a casca da pitaya vermelha e encontraram altos teores de fibras dietéticas (69,3%), sendo a maior parte de insolúveis, mas ainda com boa concentração de fibras solúveis, e consideráveis quantidades de pectina (10,79%). Dessa forma, a aplicação da farinha da casca da pitaya pode ser uma boa alternativa como fibra ou substituto de gordura em diversos produtos, enriquecendo-os nutricionalmente e sensorialmente.

A cinética de degradação das betalaínas da casca da pitaya foi estudada em temperaturas de 50, 60 e 70 °C e com diferentes solventes (metanol e água destilada) para a extração dos pigmentos. Foi verificado que a estabilidade do pigmento foi afetada pelas diferentes condições e que houve uma maior degradação com o aumento da

temperatura (PRIATNI; PRADITA, 2015). No entanto, não há estudos ainda sobre condições ideais de secagem para obtenção de subprodutos da casca, como a farinha por exemplo, nem de aplicações desse resíduo em alimentos.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Os frutos da pitaya branca (*Hylocereus undatus*) e vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) foram colhidos no mês de março do ano de 2017. Ambas as espécies foram cedidas pelo grupo Pitaya do Brasil, localizado no município de Novo Hamburgo, no estado do Rio Grande do Sul. Depois de recepcionados, foram higienizados e as partes deterioradas foram removidas e eliminadas. As cascas foram separadas das polpas manualmente e as duas foram congeladas separadamente em Câmara Fria a -12°C. Os ingredientes para produção dos sorvetes foram fornecidos pelo grupo Aromitalia do Brasil Ltda, localizado no município de Joinville, estado de Santa Catarina, Brasil. Maltodextrina DE20 Vallens (Porto Alegre, RS, Brasil), mucilagem extraída da casca da pitaya vermelha e o resíduo de cápsula de gelatina, fornecido pelo laboratório químico-farmacêutico Tiaraju (Santo Ângelo, RS, Brasil), foram utilizados como materiais de parede na encapsulação. Todos os reagentes utilizados para as análises de cromatografia foram de grau analítico, e o padrão de betatina foi adquirido da Sigma Aldrich.

### 4.2 Preparação da farinha

As cascas de pitaya vermelha foram descongeladas, cortadas manualmente em pequenos pedaços de 1,5 m<sup>2</sup> e secas em estufa com circulação de ar forçada a 60°C durante 9 horas. A casca depois de seca foi moída em Moinho de facas (Solab, modelo SL – 31, Brasil), e o pó obtido foi peneirado em peneira de 60 Mesh a fim de obter a granulometria adequada. A farinha foi então embalada à vácuo em sacos plásticos e armazenada sob refrigeração a 4°C para análises posteriores.

### 4.3 Preparação dos sorvetes

Os sorvetes foram desenvolvidos na planta piloto de laticínios, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre, RS, Brasil). Os ingredientes foram previamente pesados, homogeneizados em liquidificador (PhilisWalita, PowerChop, 600W) durante 5 minutos e à pré mistura foi adicionada o saborizante de morango. O

preparado líquido foi então adicionado a Sorveteira Tramontina Express (Figura 2) para incorporação de ar à massa e congelamento simultâneo da mesma a  $-30^{\circ}\text{C}$ .



*Figura 2. Sorveteira Tramontina Express*

Os produtos foram armazenados em embalagens próprias em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Duas formulações foram desenvolvidas, uma controle com 100% de gordura e um sorvete com redução de gordura com a farinha da casca da pitaya como substituto de gordura. A quantidade de 1% utilizada foi baseada em outro trabalho onde os autores observaram que uma quantidade maior de fibra adicionada aos sorvetes provocou um sabor residual desagradável ao produto (CRIZEL et al., 2014). Ambas as composições podem ser observadas na Tabela 1.

*Tabela 1 .Formulações de sorvete de morango desenvolvidas*

<b>Ingredientes (%)</b>	<b>P</b>	<b>RG</b>
<b>Água</b>	<b>53,5</b>	<b>58,0</b>
<b>Leite em pó integral</b>	<b>12,0</b>	<b>-</b>
<b>Leite em pó desnatado</b>	<b>-</b>	<b>12,0</b>
<b>Açúcar (Sacarose)</b>	<b>10,0</b>	<b>10,0</b>
<b>DPO Super 100</b>	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>
<b>Saborizante de morango</b>	<b>6,0</b>	<b>6,0</b>
<b>Glucosoft</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>



<b>Nata 48%</b>	<b>3,0</b>	<b>-</b>
<b>Cremit</b>	<b>2,5</b>	<b>-</b>
<b>Glucose</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
<b>Farinha casca pitaya</b>	<b>-</b>	<b>1,0</b>

---

#### 4.4 Extração da mucilagem

A extração da mucilagem da casca da pitaya vermelha seguiu o procedimento de Dick *et al.*(2019) com algumas modificações. As cascas foram cortadas em pequenos pedaços, homogeneizadas com água na proporção de 1:2 (casca de pitaya: água) em um processador de alimentos (Philips Walita®, RI7762/91, Brasil). A mistura foi agitada mecanicamente a 700 rpm, aquecida até 80°C por 30 minutos e submetida então a centrifugação (10.000 g, 20 min, 20 °C) (Hitachi, CR 21GIII, Japão). O sobrenadante obtido foi precipitado com etanol 95% na proporção de 1:3 v/v (sobrenadante: etanol) e centrifugado novamente nas mesmas condições. O pellet foi seco em estufa com circulação de ar a 40°C durante 24 horas. A amostra foi moída por moagem suave com almofariz e pistilo e posteriormente peneirada através de uma peneira de 115 Mesh para obtenção do pó com granulometria padrão.

#### 4.5 Preparação das microcápsulas de betalaína

A extração dos pigmentos foi feita de acordo com os métodos de Tang; Norziah (2007) e Sandate-Flores *et al.* (2016) com adaptações. A polpa foi homogeneizada com água acidificada (1% v/v ácido cítrico) na proporção de 1:1 (polpa de pitaya:solvente) durante 30 minutos em um agitador mecânico. As sementes, fibras e material mucilagenoso foram separados do extrato de betalaínas por centrifugação a 3000 g, durante 15 minutos a 4°C. O sobrenadante foi coletado, e os materiais de parede foram adicionados nas seguintes proporções: 10% maltodextrina (MC), 10% maltodextrina e 1% mucilagem (MU), e 10% maltodextrina e 1% gelatina (MG). A solução foi então agitada mecanicamente por mais 30 minutos antes da secagem.

O processo de secagem foi realizado utilizando um Spray DryerMSDi 1.0 de escala de laboratório (LabMaq, Brasil) (Figura 3), com dimensões de 1800 x 720 x 650

mm. Os parâmetros de operação do equipamento foram fluxo de alimentação de 0,4 L/h, temperaturas de entrada e saída de ar quente de 130°C e 75°C, respectivamente. O diâmetro interno do bico atomizador foi de 0,7 mm.



*Figura 3. Spray-dryerMSDi 1.0*

#### 4.6 Determinação da composição centesimal

A composição centesimal da casca e da polpa das duas espécies de pitaya, da farinha obtida a partir da casca e dos sorvetes foi determinada separadamente, de acordo com a metodologia da AOAC (2000). O teor de umidade foi determinado em estufa a 105 °C até manter peso constante. Para determinação de lipídeos, proteínas, cinzas e fibras, a casca e a polpa in natura e o sorvete foram previamente liofilizados para remoção da umidade. As proteínas foram determinadas pelo método de Kjeldahl (com 6,25 de fator de correção para o Nitrogênio), o teor de lipídeos foi determinado por extração com éter etílico em extrator do tipo Soxhlet, as cinzas foram feitas por carbonização das amostras seguida de incineração em mufla a 530 °C. O valor total de carboidratos foi calculado por diferença. O teor de fibras dietéticas foi determinado pelo método enzimático de Prosky, utilizando o kit da marca Sigma. Para o sorvete, as amostras foram previamente submetidas a uma hidrólise ácida para determinação de lipídeos. Todas as análises foram feitas em triplicata.

## 4.7 Análise de cor

A análise de cor dos produtos foi realizada no colorímetro Minolta CR-300 (Konica Minolta, Japão), através dos parâmetros  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  do sistema de análise de cor CIE, onde  $L^* = 100$  (branco),  $a^*$  ( $-a^* =$  verde e  $+a^* =$  vermelho),  $b^*$  ( $-b^* =$  azul e  $+b^* =$  amarelo) e a fonte de luz como D65.

A diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) foi calculada de acordo com a fórmula abaixo:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

Onde:  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  foram as diferenças de cor entre as amostras.

Os outros parâmetros, chroma ( $C_{ab}^*$ ) e hue ( $h_{ab}$ ), foram calculados seguindo as equações (2) e (3) (OTÁLORA et al., 2015):

$$C_{ab}^* = [(a^{*2}) + (b^{*2})]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

## 4.8 Caracterização da farinha

### 4.8.1 Análises físico-químicas

A atividade de água ( $a_w$ ) foi medida em aparelho medidor de atividade de água portátil HygroPalm (Rotronic, Suíça). O pH foi determinado por método potenciométrico com pH-metro (Quimis, modelo Q400AS, Brasil).

### 4.8.2 Propriedades tecnológicas

A solubilidade foi determinada de acordo com Cano-Chauca et al. (2005). Foram adicionados 50 ml de água destilada a uma quantidade de 0,5 g de amostra em um tubo de centrífuga e a mistura foi homogeneizada em Vórtex durante 1 minuto e posteriormente centrifugada a 3000 g por 5 minutos. Uma alíquota de 25 ml foi

removida do sobrenadante e transferida para uma cápsula de porcelana previamente tarada e então armazenada em estufa a 105 °C por 24 horas. A solubilidade foi calculada pela diferença de peso.

As capacidades de retenção de óleo e água foram feitas segundo metodologia de Fernández-López *et al.*(2009). Um volume de 30 ml de água/óleo de girassol foi adicionado a 1 grama de amostra. A suspensão foi homogeneizada em Vórtex por 1 minuto e deixada em repouso em temperatura ambiente durante 24 horas. Foi então centrifugada a 3000 g por 20 minutos, o sobrenadante removido e o resíduo pesado. A capacidade de retenção de água/óleo foi expressa em gramas de água/óleo por gramas de amostra seca.

#### 4.8.3 Determinação da retenção de betacianinas

Os pigmentos foram extraídos de acordo com a metodologia de Sandate-Flores *et al.*(2016), com algumas adaptações. Em torno de 5 g de casca de pitaya seca e fresca foram cortadas em pequenos pedaços de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> e extraídas com água acidificada (1% v/v ácido acético). A mistura foi homogeneizada em um agitador de tubos por 1 minuto e centrifugada a 3500 g por 15 minutos a 4°C. O sobrenadante foi coletado, e o processo foi repetido até perda completa da cor.

O conteúdo de betacianinas foi medido através de absorbância a 538 nm usando um espectrofotômetro, de acordo com a seguinte equação (LEONG *et al.*, 2018):

$$\text{Concentração de betacianinas (CB)} = \frac{A \times MW \times V \times DF}{\epsilon \times L \times W} \quad (4)$$

Onde CB é a concentração de betacianinas em miligramas por 100g de matéria seca, A é o valor de absorção a máxima absorção ( $\lambda_{\text{max}} = 538 \text{ nm}$ ), DF é o fator de diluição, MW é a massa molecular da betanina (550 g/mol), V é o volume de extrato (mL),  $\epsilon$  é o coeficiente de extinção molar da betanina ( $\epsilon = 65000 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ), L é o comprimento da cubeta e W é o peso da casca seca.

A retenção de betacianinas foi calculada de acordo com a equação (5):

$$RB \text{ (Retenção de betacianinas)}(\%) = \frac{C_{bf}}{C_{bi}} \times 100 \quad (5)$$

Onde  $C_{bi}$  e  $C_{bf}$  são as concentrações de betacianinas no tempo 0 e 9h, respectivamente.

#### 4.8.4 Determinação de atividade antioxidante

A extração da farinha para determinação da atividade antioxidante foi feita de acordo com o procedimento descrito por Lv *et al.*(2012). Foram pesados 0,5 g de farinha, a qual foi extraída com 50 mL de acetona 50% (v/v) e deixada em repouso no escuro em temperatura ambiente por 15 horas. A mistura foi então centrifugada a 2000 g por 10 minutos. Duas extrações consecutivas foram realizadas até completa exaustão dos compostos fenólicos, o que foi medido através do método Follin-Ciocalteu (Singleton and Rossi, 1965). Após o sobrenadante foi coletado.

A capacidade antioxidante da farinha foi determinada de acordo com a metodologia de Moore *et al.* (2005), com adaptações. Este método verifica a capacidade sequestradora de um antioxidante frente a um radical peroxila induzido pelo AAPH a 37 °C. Em cada poço de microplaca foram adicionados 25 µL dos extratos previamente diluídos em tampão fosfato de potássio 75 mM e 150 µL da solução de trabalho de fluoresceína (81nM). A placa foi incubada por 10 min a 37°C, sendo os últimos 3 min sob agitação constante. Após foram adicionados 25 µL da solução de AAPH (152 mM). Para o monitoramento do decaimento da fluorescência foi utilizado um leitor de fluorescência (Enspire 2300, Multimode Plate Reader, Perkin Elmer, USA) a 37°C por 90 minutos ou até atingir menos de 0,5% do valor inicial. Foram usados comprimentos de onda de excitação e emissão de 485 nm e 528 nm, respectivamente.

Após, para os cálculos, foi calculada a área sob a curva (AUC) e o valor do branco (sem antioxidante) foi subtraído para se obter a AUC líquida. A AUC é dada pela seguinte fórmula:

$$AUC = 1 + f^1/f_0 + f^2/f_0 + f^3/f_0 + \dots f^n/f_0 \quad (6)$$

Onde:

$f_n$  = fluorescência relativa em um ciclo de leitura (1 min)

$f_0$  = fluorescência no tempo zero

Foi confeccionada uma curva padrão com trolox (0 – 96  $\mu\text{M}$ ) e os resultados estão expressos como  $\mu\text{mol}$  de Trolox equivalentes por g de amostra de farinha ( $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  farinha).

#### 4.9 Caracterização dos sorvetes

##### 4.9.1 *Overrun*

*Overruns* foram estimados de acordo com a proporção de sorvete em relação ao volume da mistura, de acordo com a equação (7) (GÓRAL et al., 2018):

$$\text{Overrun} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (7)$$

Onde:  $W_1$  – massa de uma unidade de volume da mistura (g),  $W_2$  – massa de uma unidade de volume de sorvete (g).

##### 4.9.2 *Taxa de derretimento*

A análise da taxa de derretimento dos sorvetes foi realizada de acordo com a metodologia de Javidi *et al.* (2016) com adaptações. Os sorvetes foram previamente armazenados por duas semanas a  $-20^\circ\text{C}$ . As amostras (30 g) foram colocadas sobre uma tela metálica ( $6,25 \text{ mm}^2$ ) e um béquer previamente pesado foi alocado abaixo para coletar o sorvete derretido. O sistema foi mantido a  $25^\circ\text{C}$ , e o béquer foi trocado e pesado a cada 10 minutos, até total derretimento do produto. Os perfis de derretimento foram plotados em gráfico como a relação entre o peso inicial do sorvete menos o peso da amostra derretida pelo tempo. As taxas de derretimento foram determinadas baseadas

no coeficiente angular da regressão linear dos resultados de percentual de derretimento por tempo.

#### 4.9.3 *Análise de Perfil de Textura*

A textura dos sorvetes de morango foi medida através do equipamento Texturômetro TAX-T2 (Stable Micro Systems, Reino Unido) (Figura 4), conforme metodologia de Akbari *et al.*, (2016). Foi utilizado um probe cilíndrico de material acrílico de 2,0 cm de diâmetro, as análises foram feitas em triplicatas com o produto a uma temperatura de  $-10 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . As condições utilizadas no teste foram: distância de penetração de 15 mm, velocidade de teste de 3,3 mm/s, de pré-teste e de pós-teste de 3,0 mm/s. Foram realizadas duas compressões nas amostras a fim de determinar parâmetros como firmeza, adesividade, coesividade e gomosidade.

A firmeza é definida como a força máxima da primeira compressão, a adesividade é o trabalho necessário para superar as forças entre a amostra e a sonda, a coesividade é o quanto o produto resiste a uma segunda deformação em relação a primeira e a gomosidade é a energia necessária para desintegrar um alimento semi-sólido antes da deglutição, e esta relaciona a firmeza com a coesividade.



Figura 4. Analisador de textura Stable Micro Systems

#### 4.9.4 *Caracterização Reológica*

A análise do comportamento reológico dos sorvetes foi feita em Reômetro

(HAAKE Mars III; ThermoScientific, Alemanha) (Figura 5), seguindo metodologia de Kurt; Cengiz; Kahyaoglu (2016). Foi utilizada a geometria placa-placa 35 mm de diâmetro e temperatura de 4°C. As curvas de tensão de cisalhamento e viscosidade foram obtidas variando-se a taxa de deformação de 0 a 300 s<sup>-1</sup> (curva ascendente) e de 300 a 0 s<sup>-1</sup> (curva descendente). A viscosidade aparente foi calculada a uma taxa de cisalhamento de 50 s<sup>-1</sup>.



*Figura 5. Reômetro HAAKE Mars III*

Os modelos testados para os ajustes das curvas foram Bingham, Casson, Hersch-Bulkley e Lei da Potência. A área tixotrópica (histerese) foi calculada através do software pelas diferenças entre as áreas das curvas de fluxo ascendente e descendente.

#### *4.9.5 Análise Sensorial*

Os produtos elaborados foram submetidos a uma avaliação sensorial por 50 provadores não treinados, onde foram analisados parâmetros como aparência, cor, aroma, textura, sabor, sabor residual e aceitação global, através de uma ficha utilizando escala hedônica de 9 pontos, sendo 1 “desgostei muitíssimo” e 9 “gostei muitíssimo”. As amostras foram previamente armazenadas a -20°C e servidas em temperatura de -10 ± 5°C. Uma quantidade de aproximadamente 20 g de cada sorvete foi servida codificada com três dígitos aleatórios. As análises dos dois sorvetes foram realizadas em conjunto nas cabines individuais do Laboratório de Análise Sensorial do Instituto de Ciência e



Tecnologia de Alimentos da UFRGS. O modelo da ficha utilizado na análise encontra-se no Apêndice 1.

#### 4.10 Caracterização das microcápsulas

##### 4.10.1 Umidade e atividade de água

O conteúdo de umidade foi determinado pela metodologia oficial da AOAC (2000). A atividade de água foi medida em medidor de atividade de água HygroPalm (Rotronic, Suíça).

##### 4.10.2 Rendimento de encapsulação (RE)

O rendimento do pó foi calculado seguindo a equação abaixo, baseado em García-lucas et al. (2016):

$$RE (\%) = \frac{W_p - (X_{wb} \times W_p)}{V_s \times S_t} \times 100 \quad (8)$$

Onde  $W_p$  é o peso do pó (g);  $X_{wb}$  é o teor de umidade dos pós em base úmida;  $V_s$  é o volume da amostra alimentado no secador; e  $S_t$  é o total de sólidos (g de matéria seca/L), determinado pela equação 9:

$$S_t = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (9)$$

Onde  $W_2$  é o peso da cápsula com resíduo seco (g);  $W_1$  é o peso da cápsula (g); e  $V$  é o volume da amostra (mL).

##### 4.10.3 Teor de betalaínas por HPLC-DAD

A quantificação das betalaínas das microcápsulas foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), utilizando uma curva-padrão de

betanina. O equipamento (Shimadzu, Kyoto, Japão) foi equipado com duas bombas LC-20AD, um desgaseificador DGU-20A, um amostrador automático SIL20AHT e um sistema de detecção de arranjo de diodos SPD-M20A (DAD). A metodologia aplicada foi seguindo a de Stintzing *et al.* (2002). Os compostos foram separados em uma coluna de fase reversa C<sub>18</sub> com tamanho de partícula de 5 µm (250 x 4 mm; RP-18; Merck; Alemanha), a uma taxa de fluxo de 9 mL.min<sup>-1</sup> e temperatura de 29 °C. A fase móvel A consistiu de 2% (v/v) de ácido acético em água, e a fase móvel B foi de 0,5% de ácido acético em água e acetonitrila (50/50, v/v). A eluição foi realizada seguindo um gradiente linear de 10% de B em A até 27% de B em 44 minutos. O monitoramento foi realizado em comprimentos de onda de 538 e 476 nm para betacianinas e betaxantinas, respectivamente.

As betaninas totais das microcápsulas foram determinadas baseadas na metodologia de Stoll *et al.* (2016) com algumas modificações. Aproximadamente 50 mg de cada amostra foi extraída com 8 mL de metanol acidificado/água (50:50), ultrasonicado (Unique, USC 1400A, Brasil) por 5 minutos (Hitachi, model CR 21GIII, Japão) a 3500 g por 10 min. O procedimento foi realizado até a extração completa do pigmento. O sobrenadante foi filtrado em membrana 0,45 µm antes da injeção no HPLC.

#### 4.10.4 Análise de betalainas por HPLC-MS/MS

A semipurificação do extrato da pitaya foi feita de acordo com Stintzing *et al.* (2002). O cartucho C<sub>18</sub> foi ativado com 2 volumes (1 volume = 6 mL) de metanol e lavado com 3 volumes de 1% de ácido acético em água (pH 3). O extrato (2 mL) foi aplicado com 3 volumes de água acidificada na minicoluna. O fracionamento foi feito com 1 volume de metanol 100% seguido de 1 volume de metanol/ água acidificada (95:5). As frações foram então concentradas em rotaevaporador a 30°C e ressuspendidas em água ultrapura.

Aplicando o mesmo método e a mesma coluna descritos no item 4.10.3, a identificação dos compostos presentes no extrato da pitaya vermelha usando o equipamento conectado em série com um espectrofotômetro de massas BruckerDaltonics (micrOTOF-Q II, Bremen, Alemanha) (Figura 6) equipado com uma fonte de ionização por electropulverização operando no modo de ionização positivo.

Nitrogênio foi utilizado como gás seco na pressão de 30 psi. Os parâmetros foram 3 kV para capilaridade, temperatura e fluxo de gás de 310°C e 8 L.min<sup>-1</sup>, respectivamente. A fragmentação foi realizada no modo automático.

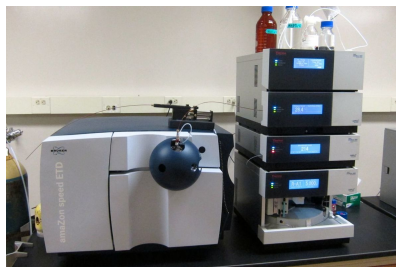


Figura 6. HPLC acoplado a espectrofotômetro de massas

#### 4.10.5 Eficiência de Encapsulação

A eficiência de encapsulação foi calculada baseada na metodologia de Stoll *et al.* (2016), seguindo a equação abaixo (10). Ela é definida como a diferença entre a retenção de betanina (BR), e a betanina localizada na superfície da microcápsula (BS). A retenção de betanina (BR) foi considerada como o percentual de pigmento retido nos pós em relação ao extrato líquido da polpa antes do processo de encapsulação. A betanina superficial (BS) foi determinada utilizando 1 g de cada cápsula extraída com 5 mL de uma mistura de etanol: metanol (1:1), agitada em Vórtex (Kasvi, K40-1020, Brasil) por 1 minuto e então centrifugada (Hitachi, modelo CR 21GIII, Japão) a 3500 g por 10 min. O sobrenadante foi filtrado em membrana 0,45 µm antes da injeção no cromatógrafo.

$$EE(\%) = \frac{(BR - BS)}{BR} \times 100 \quad (10)$$

#### 4.10.6 Morfologia e tamanho de partícula

A morfologia e a aparência superficial dos pós foi determinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) usando o equipamento JSM-6060 (JEOL, EUA), localizado no Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Figura 7). O pó foi fixado em *stubs* com fitas adesivas de ambos os lados e os

*stubs* foram cobertos com ouro. A voltagem utilizada foi de 10 kV, e eles foram examinados em ampliações de 250, 500 e 1500 x.



*Figura 7. Microscópio Eletrônico de Varredura JSM-6060*

A distribuição do tamanho de partícula foi determinada por dispersão de luz laser com o equipamento Mastersizer 2000 Malvern Instruments Ltd. (Worcestershire, Reino Unido). Os resultados foram analisados através do software Mastersizer 2000® 5.61. O diâmetro volumétrico médio expressado como diâmetro D(4,3) se refere a um diâmetro médio ponderado do volume, assumindo partículas esféricas com o mesmo volume que as partículas reais, e foi obtido através da equação:

$$D(4,3) = (d(0.9) - d(0.1))/d(0.5) \quad (11)$$

Sendo  $d_{0.9}$ ,  $d_{0.1}$ , e  $d_{0.5}$  os diâmetros a 90, 10 e 50% da curva de distribuição de tamanho cumulativo, respectivamente.

#### *4.10.7 Temperatura de transição vítrea*

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) foi determinada através de Calorímetro Diferencial de Varredura (modelo DSC 8500, Perkin Elmer Corporation, Wellesley, EUA) (Figura 8), com base na metodologia de Janiszewska-Turak *et al.* (2017). O

equipamento foi acoplado com um sistema de refrigeração de Nitrogênio Líquido (Cryofab INC, EUA) e calibrado com Índio (Temperatura de fusão 156,6°C, Energia de transição 28,45 J/g). Nitrogênio seco foi usado como gás de purga (20 mL.min<sup>-1</sup>). Uma massa entre 5 e 10 mg de cada microcápsula foi escaneada em uma “panela” de alumínio hermeticamente fechada, e uma “panela” de alumínio vazia foi usada como referência. As amostras foram aquecidas a 10°C.min<sup>-1</sup> de 25 a 150°C e então resfriadas até 25°C a 50°C.min<sup>-1</sup>.



*Figura 8. Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC 8500)*

#### 4.11 Estabilidade em condições aceleradas dos pós microencapsulados

Os pós foram dispostos em placas de Petri (21,9 x 143 mm) e armazenados a 40 ± 1 °C com 55-60% UR e 1600 lx em uma câmara com fotoperíodo (NL-41-01, NewLab, Brasil) durante 50 dias. A estabilidade foi avaliada a cada 5 dias por quantificação do total de betacianinas, análise de cor e monitoramento de atividade de água.

Para determinação das betalainas, 0,05 g de cada amostra foi dissolvida em 2 mL de água, e o conteúdo foi medido pela absorbância a 538 nm utilizando um espectrofotômetro UV-visível, e calculado de acordo com a equação (4), mencionada no item 4.8.3.

## 4.12 Aplicação em um modelo de sistema alimentício

### 4.12.1 Adição das cápsulas de betalaína em iogurtes

Uma quantidade de 1 g das microcápsulas mais estáveis (MC e MU) e um volume de 6,5 mL de extrato líquido foram adicionados a um iogurte comercial (200 g) a fim de comparar a estabilidade da cor dos produtos durante sua vida de prateleira. A padronização de cor dos três produtos foi realizada pelos parâmetros do sistema CIELAB de análise colorimétrica, tendo como valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  próximos a 45, 12 e -3, respectivamente. Imagens do primeiro e último dia de armazenamento dos produtos encontram-se no Apêndice 2. As amostras de iogurte foram avaliadas através da determinação do conteúdo de betalaína total e análise de cor através do colorímetro (Konica Minolta, Japão).

### 4.12.2 Determinação do teor de betalaínas em iogurte

A extração das betacianinas foi realizada seguindo o procedimento de Güneşer (2015), com algumas adaptações. Um volume de 5 mL de iogurte foi misturado com 3 mL de uma solução de 8% de ácido tricloroacético em água. A mistura foi homogeneizada em um Vórtex (Kasvi, K40-1020, Brasil) durante 3 minutos e posteriormente centrifugada a 6000 g por 10 min a 25°C (Hitachi, CR 21GIII, Japão). A extração foi exaustiva. O sobrenadante foi filtrado com membrana 0,45 µm, e o conteúdo de betacianina foi medido em espectrofotômetro a 538 nm e determinado pela equação (4).

## 4.13 Análise Estatística

Os resultados foram computados através de Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey, a um nível de 5% de significância, utilizando o software Statistica 13.0.

## 5. CARACTERIZAÇÃO CENTESIMAL DAS PITAYAS DE POLPA VERMELHA (*Hylocereus polyrhizus*) E BRANCA (*Hylocereus undatus*) PRODUZIDAS NO RIO GRANDE DO SUL

M. Utpott<sup>1</sup>, M. Dick<sup>1</sup>, J. C. Ramos<sup>2</sup>, R. S. Ferreira<sup>2</sup>, A. O. Rios<sup>3</sup>, S. H. Flôres<sup>3</sup>

1- Aluno (a) do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos – CEP: 90650-970 – Porto Alegre – RS – Brasil - e-mail: (michele.utpott@ufrgs.br)

2 – Aluno (a) de graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos – CEP: 90650-970 – Porto Alegre – RS – Brasil

3 – Professor (a) do Departamento de Ciências dos Alimentos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos – CEP: 90650-970 – Porto Alegre – RS – Brasil - e-mail: ([simone.flores@ufrgs.br](mailto:simone.flores@ufrgs.br))

**RESUMO** – A pitaya é um fruto exótico com produção crescente no Brasil, estando em fase inicial de cultivo no estado do Rio Grande do Sul. É pertencente à família de cactos e possui boas propriedades sensoriais e nutricionais. As duas espécies principais são *Hylocereus undatus* (pitaya branca) e *Hylocereus polyrhizus* (pitaya vermelha). Este trabalho avaliou a composição centesimal de ambas as espécies para consumo e aplicação desse fruto industrialmente e comparou com os produzidos em outros estados do país. As pitayas apresentaram altas quantidades de fibras e cinzas e baixo teor de lipídeos e proteínas, além de valor calórico reduzido, não perdendo em valor nutricional para as produzidas em São Paulo e no Paraná, por exemplo. Seu consumo pode ser inserido na dieta e ela pode agregar valor a diversos produtos devido a suas características funcionais e nutritivas.

**ABSTRACT** – Pitaya is an exotic fruit with increasing production in Brazil, being in the initial phase of cultivation in the state of Rio Grande do Sul. It belongs to the cacti family and has good nutritional and sensory properties. The two more important species are *Hylocereus undatus* (white dragon fruit) and *Hylocereus polyrhizus* (red dragon fruit). This work evaluated the proximate composition of both species for consumption and industrial application of this fruit and compared with those produced in another states of Brazil . Pitayas presented high amounts of fibers and ash and low fat and protein content, in addition to reduced caloric value, not losing in nutritional value to those produced in São Paulo and Paraná, for example. Its consumption can be inserted into the diet and it can add value to various products due to its functional and nutritional characteristics.

**PALAVRAS-CHAVE:** pitaya branca, pitaya vermelha, composição centesimal.

**KEYWORDS:** white pitaya, red pitaya, proximate composition.

## 1. INTRODUÇÃO

A pitaya é um fruto tropical pertencente à família dos cactos, *Cactaceae*, nativa das regiões do México e das Américas Central e do Sul (WU et al., 2006). As plantas dessa família são capazes de tolerar calor e frio extremos e períodos de estiagem, e são totalmente adaptáveis a novos ambientes. No Brasil, a produção se concentra mais na região Sudeste, no estado de São Paulo, com produção de frutos nos meses de dezembro a maio, e produtividade média anual de 14 toneladas por hectare (NOGUEIRA-NUNES et al., 2014). No entanto, o interesse pelo fruto é crescente, devido a ser exótico e às propriedades nutricionais e organolépticas que apresenta, fazendo com que seu cultivo se estenda a outras regiões do país (DE ANDRADE; MARTINS; SILVA, 2008; MOLINA et al., 2014; ORTIZ; TAKAHASHI, 2015). Existem diversos plantios distribuídos também nos estados da Paraíba e Ceará, por exemplo, e em Fortaleza já há comercialização de pitaya em grandes redes de supermercados (NOGUEIRA-NUNES et al., 2014). No Rio Grande do Sul a produção e a comercialização ainda estão em fase inicial.

Existem duas espécies que são mais comuns de serem encontradas: a pitaya branca (*Hylocereus undatus*) e a vermelha (*Hylocereus polyrhizus*), as quais diferem no formato, tamanho e cor da polpa (NURLIYANA et al., 2010). O gênero *Hylocereus* é endêmico para a América Latina e tem sido o foco das principais pesquisas sobre esse fruto (LE BELLEC; VAILLANT; IMBERT, 2006). A espécie *Hylocereus undatus* possui polpa de cor branca e casca vermelha, e a *Hylocereus polyrhizus* apresenta polpa e casca de cor vermelha intensa, oriunda de pigmentos conhecidos como betalaínas (WONG; SIOW, 2015), o que a torna interessante como fonte de corantes naturais. Além disso, a casca da pitaya é um subproduto do processamento do suco da fruta e pode ser um resíduo de alto valor agregado (NURLIYANA et al., 2010).

A pitaya, também conhecida como fruto do dragão, é grande em tamanho, tem formato oval e pesa entre 300 e 600 g, apresentando uma polpa suave e doce e com pequenas sementes pretas (WONG; SIOW, 2015). Já foi relatado que ela possui alto teor de compostos fenólicos, antioxidantes e fibras dietéticas, o que faz com que seu consumo ajude na prevenção de doenças crônicas (RUBNER-INSTITUT, 2011; WU et al., 2006). Além disso, sua casca contém quantidades consideráveis de pectina, o que permite que ela possa ser utilizada como agente espessante em alimentos, além de ser fonte de fibras (JAMILAH et al., 2011).



Dessa forma, a caracterização desse fruto para consumo no estado do Rio Grande do Sul é de extrema importância, a fim de determinar sua composição e apontar possíveis aplicações na indústria de alimentos.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais**

Os frutos da pitaya branca (*Hylocereus undatus*) e vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) foram cedidos pelo grupo Pitaya do Brasil, localizado na cidade de Novo Hamburgo, no estado do Rio Grande do Sul. Depois de recepcionados, foram higienizados e as partes deterioradas foram removidas e eliminadas. As cascas foram separadas das polpas manualmente e ambas foram previamente liofilizadas a fim de remover a umidade para determinação de lipídeos, proteínas, cinzas e fibras.

### **2.2 Composição centesimal**

A composição centesimal da casca e da polpa das duas espécies de pitaya foi determinada separadamente, de acordo com a metodologia da AOAC (2000). O teor de umidade foi determinado em estufa a 105 °C até manter peso constante, as proteínas foram determinadas pelo método de Kjeldahl (com 6,25 de fator de correção para o Nitrogênio), o teor de lipídeos foi determinado por extração com éter etílico em extrator do tipo Soxhlet, as cinzas foram feitas por carbonização das amostras seguida de incineração em mufla a 530 °C, e o total de carboidratos foi calculado por diferença. O teor de fibras dietéticas foi determinado pelo método enzimático de Prosky, utilizando o kit da marca Sigma. Todas as análises foram feitas em triplicata.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A composição centesimal das cascas e polpas das duas espécies da pitaya está apresentada na Tabela 2. Pode-se perceber que os frutos da pitaya branca e vermelha apresentam alto teor de umidade tanto na casca quanto na polpa, variando de 86 a 93%,

e que as duas polpas e cascas não diferem significativamente entre si em relação a esse parâmetro. Le Bellec *et al.* (2006) afirmam que a quantidade de água da polpa das espécies *Hylocereus* varia de 82 a 88%, o que está de acordo com os valores encontrados, e que a distribuição de sólidos solúveis nelas não é homogênea, sendo a parte central mais rica em açúcares.

Tabela 2. Composição centesimal da polpa e casca das pitayas branca (*Hylocereus undatus*) e vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) em base úmida (%).

	Polpa da pitaya vermelha (%)	Polpa da pitaya branca (%)	Casca da pitaya vermelha (%)	Casca da pitaya branca (%)
<b>Umidade</b>	86,82 ± 0,07 <sup>b</sup>	86,92 ± 0,07 <sup>b</sup>	92,73 ± 0,09 <sup>a</sup>	92,88 ± 0,06 <sup>a</sup>
<b>Proteínas</b>	1,75 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,10 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,46 ± 0,10 <sup>c</sup>	0,32 ± 0,03 <sup>c</sup>
<b>Lipídeos</b>	0,87 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,45 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,12 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,05 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>Cinzas</b>	0,89 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,69 ± 0,03 <sup>d</sup>	1,54 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,98 ± 0,00 <sup>b</sup>
<b>Fibras totais</b>	4,21 ± 0,25 <sup>a</sup>	2,58 ± 0,21 <sup>b</sup>	4,47 ± 0,13 <sup>a</sup>	4,75 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>Fibras insolúveis</b>	2,16 ± 0,12 <sup>b</sup>	0,94 ± 0,16 <sup>c</sup>	2,54 ± 0,04 <sup>a</sup>	2,19 ± 0,00 <sup>b</sup>
<b>Fibras solúveis</b>	2,05 ± 0,16 <sup>b</sup>	1,64 ± 0,18 <sup>b</sup>	1,93 ± 0,08 <sup>b</sup>	2,56 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>Carboidratos</b>	5,50 ± 0,36 <sup>b</sup>	8,25 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,72 ± 0,15 <sup>c</sup>	1,00 ± 0,09 <sup>c</sup>
<b>Valor calórico (Kcal)</b>	36,41 ± 1,00 <sup>b</sup>	41,50 ± 0,19 <sup>a</sup>	5,65 ± 0,97 <sup>c</sup>	5,67 ± 0,20 <sup>c</sup>

\*Linhas com letras iguais significam que não houve diferença significativa entre os tratamentos a um nível de 5% de significância.

Quanto ao conteúdo de proteínas e lipídeos, ambos são baixos para os dois frutos, as polpas ainda contendo um teor levemente superior de proteínas do que as cascas. Esses valores corroboram com os resultados de Abreu *et al.* (2012), que caracterizaram as pitayas vermelha e branca produzidas no estado de São Paulo. Já foi relatado também que o teor de proteínas da polpa dessas espécies varia de 0,3 a 1,5%, valores próximos aos encontrados (LE BELLEC; VAILLANT; IMBERT, 2006). Nogueira-Nunes *et al.* (2014) destacam ainda sua baixa quantidade de lipídeos, e que o consumo do fruto pode contribuir junto com outros alimentos para uma dieta equilibrada.

As cascas dos frutos possuem um teor de cinzas maior quando comparado às polpas, mas valores a partir de 0,7% são indicativos de um conteúdo mineral útil para a melhoria da saúde humana (MOHD ADZIM *et al.*, 2006). Os resultados para fibras totais diferiram dos encontrados por Abreu *et al.* (2012), ambas as cascas e a polpa da pitaya vermelha apresentaram quantidades semelhantes, somente a polpa da espécie

*Hylocereus undatus* apresentou um resultado inferior. No entanto, os valores de fibras ainda são altos e superiores ao de frutas como abacaxi, banana, laranja, maçã, mamão e manga (TACO, 2011). Jamilah *et al.* (2011) estudaram a composição da casca da pitaya de polpa vermelha e acharam um resultado próximo de fibras totais, além de uma boa proporção entre as fibras insolúveis e as solúveis (3,8: 1,0). Neste trabalho foram encontradas melhores relações entre fibras insolúveis e solúveis, de 1,3: 1,0, por exemplo, indicando que a fibra presente na casca e na polpa pode ter uma boa função fisiológica e tecnológica.

O valor calórico mais elevado das polpas das pitayas é devido ao teor de açúcares presente, o qual confere a elas o sabor adocicado, mais perceptível na polpa da pitaya branca. Mas o fruto ainda é considerado de baixo valor energético quando comparado ao abacaxi, açaí, goiaba, maçã e pêssego, por exemplo (TACO, 2011).

Comparando as pitayas cultivadas no Rio Grande do Sul com as produzidas em outros estados do Brasil, diferenças existem principalmente quanto ao teor de cinzas das polpas, quando comparados com os frutos do Paraná e de São Paulo, em relação à umidade das cascas, a qual é superior em relação às produzidas em São Paulo, e ao teor de fibras das cascas que se mostra inferior em comparação às do mesmo estado (ABREU *et al.*, 2012; CASTRO *et al.*, 2016). No geral, as duas espécies do gênero *Hylocereus* analisadas neste estudo podem contribuir para uma alimentação saudável, sendo boa fonte de fibras e contendo baixo valor calórico.

#### **4. CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos mostram que as pitayas de polpa vermelha e branca produzidas no estado do Rio Grande do Sul são frutos de alto valor nutricional, devido à quantidade de fibras e conteúdo mineral presentes na casca e polpa, podendo ser inseridos na dieta alimentar sem agregar muito valor calórico. As polpas podem ser utilizadas na elaboração de diversos produtos como sorvetes, iogurtes, sobremesas e sucos, melhorando aspectos sensoriais e nutricionais. E as boas características presentes na casca podem tornar esse subproduto do processamento da polpa da fruta um ingrediente funcional para diversas aplicações na indústria de alimentos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, W. C. DE et al. Características físico-químicas e atividade antioxidante total de pitaias vermelha e branca. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 4, p. 656–661, 2012.
- CASTRO, J. C. et al. Características físico-químicas , compostos bioativos , atividade antioxidante e enzimática de frutos da pitaiá ( *Hylocereus undatus* ). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 10, n. 1, p. 2081–2095, 2016.
- DE ANDRADE, R. A.; MARTINS, A. B. G.; SILVA, M. T. H. Development of seedlings of red pitaya (*Hylocereus undatus* Haw) in different substrate volumes. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 30, n. 5 SUPPL, p. 697–700, 2008.
- JAMILAH, B. et al. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **International Food Research Journal**, v. 18, n. 1, p. 279–286, 2011.
- LE BELLEC, F.; VAILLANT, F.; IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. **Fruits**, v. 61, p. 237–250, 2006.
- MOHD ADZIM, K. R. et al. Proximate composition and selected mineral determination in organically grown red pitaya ( *Hylocereus* sp .). **Journal of Tropical Agricultural and Foss Science**, v. 34, n. 2, p. 269–275, 2006.
- MOLINA, R. et al. Physical Evaluation and Hygroscopic Behavior of Dragon Fruit ( *Hylocereus undatus* ) Lyophilized Pulp Powder. **Drying Technology**, v. 32, n. 16, p. 2005–2011, 2014.
- NOGUEIRA-NUNES, E. et al. Pitaiá (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 90–98, 2014.
- NURLIYANA, R. et al. Antioxidant study of pulps and peels of dragon fruits: A comparative study. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 2, p. 367–375, 2010.
- ORTIZ, T. A.; TAKAHASHI, L. S. A. Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 14422–14439, 2015.
- RUBNER-INSTITUT, M. Cardioprotective compounds of red pitaya ( *Hylocereus polyrhizus* ) fruit. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 9, n. November, p. 152–156, 2011.
- WONG, Y.-M.; SIOW, L.-F. Effects of heat, pH, antioxidant, agitation and light on betacyanin stability using red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) juice and concentrate as models. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 5, p. 3086–92, 2015.
- WU, L. C. et al. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food Chemistry**, v. 95, n. 2, p. 319–327, 2006.

## **6. CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF RED PITAYA (*Hylocereus polyrhizus*) PEEL POWDER AS A FAT REPLACER IN ICE CREAM**

Michele Utpott, Rubilene Ramos de Araujo, Carolina Galarza Vargas, Ana Raisa Nunes Paiva, Bruna Tischer, Alessandro de Oliveira Rios, Simone HickmannFlôres

### **Abstract**

This work studied the utilization of peel of red pitaya, a by-product of the processing of fruit pulp, as a fat substitute in ice creams. The peel powder produced was characterized in relation to physicochemical and technological properties, pigment retention and antioxidant activity by ORAC method. Two formulations of strawberry ice creams were developed, a standard control and a low-fat ice cream, and characterized in relation to their physical, chemical, rheological and sensorial properties. The peel powder has shown with high dietary fiber content, potential antioxidant capacity and suitable technological properties to be used as a fat replacer in foods. The strawberry ice creams developed had good overall acceptability, and the pitaya fiber improved physical parameters of texture, overrun and rheological behavior of the sample with 73.5 % fat reduction, demonstrating that it is an alternative for the food industry to reduce fat with an increase in the nutritional value of products.

### **1. Introduction**

Consumers increasingly have searched healthy food with low fat, sugar and calorie. A large challenge to the food industry is making good products with a reduction of carbohydrates or lipids, preserving their technological properties and flavor. Low-fat diets help prevent the risk of chronic diseases, like cardiovascular disease, diabetes, and cancer (BASTIEN et al., 2014; LIU et al., 2018).

Ice cream is a frozen foam consist of a mixture of air, water, milk fat or nondairy fats, milk solids-not-fat, sweeteners, stabilizers, emulsifiers, and flavors (DOUGLAS GOFF; HARTEL, 2013). Fat has important functions in ice creams since increases the richness of flavor, provides good structure and texture, and contributes to melting resistance, crystallization and cold sensation (DOUGLAS GOFF; HARTEL,

2013; LIU et al., 2018). So, the reduction of fat in this kind of product must be done carefully, in order to preserve its main characteristics. Dietetic fibers have potential applications as fat replacers in foods, due to their technological properties as water holding and swelling capacities, viscosity and texture enhancement (CRIZEL et al., 2014; LÓPEZ-VARGAS et al., 2013). Fibers are found mostly in fruit peels, which are often underused by the food industries.

Pitaya or dragon fruit is a member of the cactus family (Cactaceae), native to Mexico and Central America. It has an attractive color and flavor, so some species like *Hylocereus polyrhizus* (red pitaya) are cultivated in South America (MERCADO-SILVA, 2018). Pitaya peels are byproducts from pulp processing that are generally discarded, but they are rich in polyphenols, antioxidants and have high contents of dietary fibers (JAMILAH et al., 2011; WU et al., 2006; ZHUANG; ZHANG; SUN, 2012). The peels may be representing potential fat replacers, improving nutritional value and functional properties of food products.

The flour produced with pitaya peel, when used as an ingredient in ice cream, can influence several characteristics in the product. Therefore, technological properties of the flour like solubility and water/oil holding capacity need to be studied for its application. Besides, the powder addition can affect physicochemical characteristics, color, viscosity, and flavor in the ice cream, and can improve its antioxidant potential.

According to the reported, this work aimed to characterize the pitaya peel flour and evaluate its potential application as a fat replacer in strawberry ice cream, through the determination of its chemical, physical, sensorial and rheological properties.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1 Materials**

Red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peels were provided by Pitaya do Brasil group, located in Novo Hamburgo city, state of Rio Grande do Sul, Brazil. The ice cream ingredients were supplied by Aromitalia do BrasilLtda, situated in Joinville city, state of Santa Catarina, Brazil.

### **2.2 Red Pitaya Peel Flour**

Pitaya peels were manually cut into small pieces of approximately 1.5 cm<sup>2</sup> and dried in an oven with forced air circulation at 60 °C for 9 hours. The dry peel was ground in a Knife Mill (Solab, model SL – 31, Brazil) and sieved in a 60 Mesh sieve to obtain the appropriate granulometry. The flour was then packed in a vacuum and stored in refrigeration at 4 °C for later use.

### 2.3 Ice Cream Preparation

Strawberry ice creams were developed in the dairy pilot plant at the Federal University of Rio Grande do Sul (Porto Alegre, RS, Brazil). The ingredients were previously weighed, homogenized in a blender (Philips Walita, PowerChop, 600W) at speed 1 for 5 minutes and then added to Tramontina Express Ice Cream for freezing at -30°C and air incorporating into the mass. The products were stored in their packaging under freezing at -20°C. Two formulations were developed, a standard control ice cream with 100% of fat and low-fat ice cream with pitaya peel flour as a fat replacer. Both compositions can be observed in Table 4.

*Table 3. Ice cream formulations*

<b>Ingredients (%)</b>	<b>C</b>	<b>FR</b>
<b>Water</b>	53.5	58.0
<b>Whole milk powder</b>	12.0	-
<b>Skim Milk powder</b>	-	12.0
<b>Sugar</b>	10.0	10.0
<b>DPO Super 100</b>	9.0	9.0
<b>Strawberry paste flavoring</b>	6.0	6.0
<b>Glucosoft</b>	3.0	3.0
<b>Cream pasteurized milk 48%</b>	3.0	-
<b>Cremix</b>	2.5	-
<b>Glucose</b>	1.0	1.0
<b>Pitaya peel flour</b>	-	1.0

C: Ice cream with 100% of fat; FR: Ice cream with fat reduction

### 2.4 Flour and Ice Cream Analysis

### *Chemical Composition*

The contents of moisture, ash, lipids, and proteins were determined according to the AOAC official methods. Dietary fiber composition was determined by the enzyme-gravimetric method, as described by AOAC (Association of Official Analytical Chemist, 2005). For ice creams, samples were previously submitted to acid hydrolysis before lipid analysis.

### *Color*

The color was measured using a Minolta CR-400 colorimeter (Konica Minolta, Japan), with D<sub>65</sub> as an illuminant. The evaluated parameters from CIELAB system were lightness ( $L^*$ ), red/green ( $a^*$ ) and yellow/blue ( $b^*$ ). Total chromatic aberration ( $\Delta E^*$ ) of ice creams were calculated according to the following formula:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

Where:  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  was the color difference between ice creams.

## **2.5 Flour Characterization**

### *Physicochemical Analysis*

The water activity ( $a_w$ ) was measured in HygroPalm (Rotronic, Switzerland) water activity analyzer. The pH was determined by a potentiometric method using a pH meter (Quimis, model Q400AS, Brazil).

### *Technological Properties*

The water solubility was determined according to Cano-Chauca *et al.*(2005), where 50 mL of distilled water was added to 0.5 g of dry sample, the mixture was homogenized in a mechanical stirrer (Kasvi, K40-1020, Brazil) for 1 minute and then



centrifuged at 3000 g during 5 minutes. Aliquot of 25 mL of the supernatant was removed and transferred to a pre-weighed aluminum capsule and oven-dried at 105 °C for 24 hours. The solubility (%) was calculated by weight difference. The water-holding capacity (WHC) and oil-holding capacity (OHC) were determined according to Fernández-López *et al.* (2009). A volume of 30 mL of distilled water/sunflower oil was added to 1 g of dry sample. The suspension was stirred in vortex stirrer for 1 minute and left at room temperature for 24 hours. Then it was centrifuged at 3000 g for 20 minutes, the supernatant removed and the residue weighed. The water/oil holding capacity was expressed in water/oil per gram dry matter.

#### *Determination of Betacyanins Retention*

The pigments were extracted according to Sandate-Flores *et al.*(2016) with some adaptations. About 5 g of fresh and dried pitaya peels were cut into small pieces of approximately 1 cm<sup>2</sup> and extracted with acidified water (1% v/v acetic acid). The mixture was homogenized on a tube shaker for one minute and centrifuged at 3500 g for 15 minutes at 4°C. The supernatant was collected, and the process was repeated until the complete loss of color.

The betacyanin content was measured by absorbance at 538 nm using a spectrophotometer, according to the following equation (LEONG *et al.*, 2018):

$$BC \text{ (Betacyanin concentration)} = \frac{A \times MW \times V \times DF}{\epsilon \times L \times W} \quad (2)$$

where BC is the betacyanin concentration in milligrams per 100g dry matter, A is the absorption value at the absorption maximum ( $\lambda$  max = 538 nm), DF is the dilution factor, MW is the molecular weight of betanin (550 g/mol), V is the volume of extract (mL),  $\epsilon$  is the molar extinction coefficient of betanin ( $\epsilon = 65000 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ), L is the pathlength of the cuvette and W is the weight of dry powder.

Betacyanins retention was calculated according to equation (3):

$$BR \text{ (Betacyanin retention)(\%)} = \left( \frac{Bc_f}{Bc_i} \right) \times 100 \quad (3)$$

Where  $B_{c_i}$  and  $B_{c_f}$  are betacyanin concentration at hour 0 and 9, respectively.

### *Determination of Antioxidant Activity (ORAC)*

Flour antioxidants extraction was done according to Lvet *al.* (2012). About 0.5 g of pitaya flour was weighted and extracted with 5 ml of acetone: water (1:1), was stored in the dark at ambient temperature overnight and after centrifuged at 2000 g for 10 minutes. Two consecutive extractions were done until complete exhaustion of phenolic compounds, which were measured by Follin-Ciocalteu method (Singleton and Rossi, 1965).

Antioxidant capacity was determined following Moore *et al.* (2005) with some modifications. This method evaluates the antioxidant sequestering ability against free radicals generated by AAPH at 37°C. 25  $\mu$ L of the previously prepared extracts diluted in 75 mM potassium phosphate buffer (pH 7,4) were added to each well with 150  $\mu$ L of fluorescein solution (81nM). The plate was incubated for 10 min at 37°C, and in the last 3 minutes remained under constant stirrer. Then 25  $\mu$ L of the AAPH solution (152mM) was added. Fluorescence measurements were carried out at 37°C for 90 min using an Enspire 2300 Multimode Plate Reader (Perkin-Elmer, USA). Excitation and emission wavelengths were 485 e 528 nm, respectively. Trolox equivalents (TE) were calculated using the relative area under the curves for samples compared to a Trolox standard curve (0 – 96  $\mu$ M). Results are expressed as  $\mu$ mol TE/ g flour.

## **2.6 Ice Cream Characterization**

### *Overrun*

Overruns were estimated according to the proportion of ice cream to the volume of mix, according to equation (4) (GÓRAL *et al.*, 2018):

$$\text{Overrun} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (4)$$

Where:  $W_1$  – mass of the unit volume of the mixture (g),  $W_2$  – mass of unit volume of ice cream (g)

### *Melting Rate*

The melting rate was determined according to Javidi *et al.* (2016) with some adaptations. Ice creams were previously stored for 2 weeks at  $-20^{\circ}\text{C}$ . The samples (30g) were placed on a wire mesh ( $6.25\text{ mm}^2$ ) and a previously weighed beaker was placed under the mesh to collect melted ice cream. The room temperature was kept at  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ; the beaker was replaced and weighted every 10 minutes until all product was melted. The melting profiles were plotted as the percentage of the melted ice cream versus time, the slope of the linear part of the plot indicating the melting rate ( $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

### *Texture Profile Analysis*

Strawberry ice creams texture was evaluated at room temperature using a TAX-T2 Texture Analyzer (Stable Micro Systems, United Kingdom), according to Akbari *et al.* (2016). An acrylic cylindrical probe with a diameter of 2.0 cm was used, and the analysis was done in triplicate with the product at a temperature of  $-10 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . The conditions used in the test were as follows: penetration distance, 15 mm; test speed,  $3.3\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; pre-test and post-test speeds,  $3.0\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . The samples, kept in plastic vessels, were penetrated from two spots on the surface in order to determine the texture parameters, such as hardness, adhesiveness, cohesiveness, and gumminess.

### *Rheological Characterization*

The rheological behavior of the samples was evaluated using a Rheometer (HAAKE Mars III; Thermo Scientific, Germany), following Kurt *et al.* (2016) methodology. A plate/plate geometry with diameter 35 mm was used and the steady shear rheological properties were determined at  $4^{\circ}\text{C}$ . Curves were obtained by registering to shear stress and a viscosity at shear rates from 0 to  $300\text{ s}^{-1}$  (ascending curve) in 150 s, followed by a reversal in 150 s from  $300$  to  $0\text{ s}^{-1}$  (descending curve). The apparent viscosity was calculated at a shear rate of  $50\text{ s}^{-1}$ .

The flow behavior was analyzed by using Bingham, Casson, Herschel-Bulkley and Power Law models. The hysteresis (thixotropic) areas were calculated from the differences between the areas under ascending and descending flow curves.

### *Sensory Analysis*

The elaborated products were submitted to sensory evaluation by 50 untrained consumers, where parameters as appearance, color, aroma, texture, flavor, residual taste, and overall acceptability were analyzed using a structured 9-point hedonic scale (MEILGAARD, 2016). Samples were pre-stored at -20°C and thawed to -10°C for analysis. A portion of approximately 20 g of each ice cream was served coded with a three-digit random number. The two products were evaluated together in individual booths of the Sensory Analysis Laboratory from Federal University of Rio Grande do Sul.

## **2.7 Statistical Analysis**

The results were computed by Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey's test, at the 5% level of significance, using Statistica 13.0 software.

## **3. Result and Discussion**

### **3.1 Flour Properties**

#### *Physicochemical Parameters*

The chemical composition of pitaya peel flour is presented in Table 4. The dried residue has low contents of moisture, lipids and proteins, and high amounts of ash. Moisture value is characteristic and suitable for flours, similar to those found by Crizel *et al.* (2016) for pineapple and papaya byproducts powders (13-16 %). Result from proteins is higher than pequi (3.3 g.100<sup>-1</sup> powder) co-product (LEÃO *et al.*, 2017), and proximate to pineapple peel powder (6.72 g.100<sup>-1</sup>g powder) (CRIZEL *et al.*, 2016). The non-significant amount of lipids, lower than other residues obtained from orange and grape's process, suggest that this flour may be used in low-fat foods (FERNÁNDEZ-

LÓPEZ et al., 2009). Ash values are higher compared to dried skins of fruits as banana, orange, lemon and jackfruit (5-6 g. 100<sup>-1</sup>g powder) (PATHAK; MANDAVGANE; KULKARNI, 2017), which indicates that pitaya powder is a good source of minerals.

*Table 4. Physicochemical and technological properties, betacyanin retention (BR) and antioxidant activity (ORAC) of pitaya peel powder.*

<b>Parameter</b>	<b>Mean ± SD</b>
<b>Moisture (%)</b>	12.38 ± 0.56
<b>Proteins (g.100<sup>-1</sup>g DM)</b>	6.30 ± 0.18
<b>Lipids (g.100<sup>-1</sup>g DM )</b>	1.31 ± 0.16
<b>Ash (g.100<sup>-1</sup> DM )</b>	17.56 ± 0.29
<b>Total dietary fiber (TDF) (g.100<sup>-1</sup>g DM )</b>	65.59 ± 1.65
<b>Insoluble dietary fiber (IDF) (g.100<sup>-1</sup>g DM )</b>	41.63 ± 2.97
<b>Soluble dietary fiber (SDF) (g.100<sup>-1</sup>g DM )</b>	23.96 ± 1.32
<b>Carbohydrates (g.100<sup>-1</sup>g DM )</b>	8.92 ± 1.15
<b>a<sub>w</sub></b>	0.41 ± 0.05
<b>pH</b>	4.07 ± 0.01
<b>Solubility (%)</b>	30.14 ± 2.64
<b>WHC (g water/ g powder)</b>	8.72 ± 0.67
<b>OHC (g oil/ g powder)</b>	0.99 ± 0.09
<b>L*</b>	30.22 ± 0.19
<b>a*</b>	5.56 ± 0.42
<b>b*</b>	-0.44 ± 0.09
<b>BR (%)</b>	48.00 ± 6.73
<b>Antioxidant Activity (µmolTrolox/g powder)</b>	101.23 ± 7.88

Results are the means of three determinations ± standard deviation. Values of chemical composition are expressed as g.100<sup>-1</sup>g dry matter

Pitaya peel powder has significant amounts of dietary fibers, which allows it to be called dietary fiber powder (LARRAURI, 1999). This demonstrates that the by-product of this fruit can be an excellent ingredient to the food industry, improving the nutritional value of products and helping to prevent the risk of different chronic diseases. Yet, this value is higher than several wastes such as from pequi (39-44 g.100 g<sup>-1</sup> powder), pineapple (45.23 g.100 g<sup>-1</sup> powder) and papaya (32.23 g.100 g<sup>-1</sup> powder) (CRIZEL et al., 2016; LEÃO et al., 2017), and similar to orange's byproducts (64 g.100 g<sup>-1</sup> powder) (CRIZEL et al., 2013). Soluble fiber content (SDF), close to mango peel (19 g.100 g<sup>-1</sup> powder) (AJILA et al., 2010), and the good ISF/SDF ratio (1,7:1) are also

highlighted, since dietary fiber has an ISF/SDF ratio next to 2:1 to be accepted as a food ingredient (CRIZEL et al., 2013). This relationship between fibers fractions confers an important functional characteristic, indicating that this ingredient can have technological application in food products (JAMILAH et al., 2011). The percentage of insoluble dietary fibers found was close to pequi peel (34 g.100 g<sup>-1</sup> powder), and this parameter influence on physiological effects such as increased of fecal volume and decreased intestinal transit, thus bringing some benefits to human organism (LEÃO et al., 2017).

### *Technological Characteristics*

Table 4 shows the physical and technological properties of pitaya peel powder. The parameters of pH and water activity are important for products shelf life. Microbiological deterioration and reactions as lipid oxidation and Maillard browning are minimal in foods with water activity lower than 0,5 and acid pH, so low pH and water activity values reduce to a minimum the risk of deterioration of this ingredient (CRIZEL et al., 2013; FERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2009; LÓPEZ-VARGAS et al., 2013). pH value is similar to passion fruit co-product (4.4) (LÓPEZ-VARGAS et al., 2013), and watermelon peel (4.7) (CHEN et al., 2017). Water activity result is higher when compared to other powders, but still next to orange peel fiber (CRIZEL et al., 2013).

Flour technological characteristics are related to the chemical structure of its compounds, and others factors such as particle size, porosity, temperature, pH and dietary fiber content (LEÃO et al., 2017; LÓPEZ-VARGAS et al., 2013). The value of solubility should be related to its high soluble fiber content and to the dehydration temperature used, as low drying temperatures (40-70 °C) lead to high solubility values. The result of solubility obtained in this work were similar to orange by-products submitted at the same drying temperature (28.9 %) (CRIZEL et al., 2013), higher when compared to powders produced at 50 °C like from pequi peel (16.7-19.8 %) (LEÃO et al., 2017), and lower than fruit wastes dried at 55°C as pineapple and papaya (55-60%) (CRIZEL et al., 2016).

Regarding the water retention capacity of pitaya peel powder, it is similar to orange and papaya fibers (8.7-9.6 g.g<sup>-1</sup>) (CRIZEL et al., 2013, 2016), but also higher in relation to pequi (3.7-4 g.g<sup>-1</sup>) (LEÃO et al., 2017). This is also due to the soluble dietary fiber content and is an important characteristic in order to determine the hydration

required for fiber when it is incorporated into the development of food products. High values are indicative of potential applications in foods that require hydration, viscosity and shelf life increase, such as meat and bakery products (LÓPEZ-VARGAS et al., 2013).

Oil holding capacity is important for flavor retention and yield of products, especially for cooked foods, and depends on surface properties, charge density, thickness and hydrophobic nature of the fiber (FERNÁNDEZ-LÓPEZ et al., 2009; LEÃO et al., 2017; LÓPEZ-VARGAS et al., 2013). The result from pitaya powder is too low, close to pequi (1.35 g.100 g<sup>-1</sup> powder) (LEÃO et al., 2017) and tomato peel (1.5 g.g<sup>-1</sup> powder) (LI et al., 2018), indicating that it can be used in fried products without providing a greasy feeling.

The addition of a dietary fiber powder in a food product can affect one of the most important quality parameters that are the color, and one of the great challenges of the industry when increasing fiber content in food is a change in texture and color that it causes (LÓPEZ-VARGAS et al., 2013). The low  $L^*$  value (lightness) is indicative of a dark flour, which should cause color change depending on the product in which it is added. It is proximate to jaboticaba peel powder (32) (GURAK et al., 2014). The value of coordinate  $a^*$  is higher than orange peel powder (1.6) (CRIZEL et al., 2013) and indicate a greater tendency to red color, because of red pitaya peel color and the betacyanins presence.

#### *Betacyanins Retention*

The betacyanins retention from pitaya peel dried at 60 °C for 9 hours remained close to 50 % (Table 4). This means that pigment lost was significant at low temperatures, but indicates that it can retain part of its activities.

In a study of Bakaret *al.* (2013), they optimized the spray-drying of pitaya peel to produce a powder with high betacyanin content and verified that the equipment inlet and outlet temperatures also affected betacyanin retention, besides maltodextrin concentration. The use of lower temperatures led to less pigment loss, and it was obtained from 60 to 90 % of betacyanin retention, with inlet air temperatures between 155 and 175 °C. The higher retention results are due to the instant drying of the sample, instead of the long time process in the oven.

### *Antioxidant Capacity*

Vegetal origin foods such as fruits have long been considered as a good source of antioxidants and can help in the prevention of various chronic diseases in the human organism (MUNIR et al., 2018). It has been already reported that pitaya peel, due to its compounds like polyphenols, has significant amounts of antioxidants (WU et al., 2006).

The oxygen radical absorbance capacity (ORAC) is an *in vitro* assay that provides a direct measure of hydrophilic and lipophilic effects antioxidant capacity in the presence of free radical sources. Researchers suggest that the intake of antioxidants in the diet is important to reduce myocardial infarction, stroke, hypertension and cancer risks, with the daily dietary intake of about 10,000  $\mu\text{mol Trolox}$  of ORAC (PRIOR, 2015).

The free radical-scavenging capacity of pitaya peel powder was evaluated with the ORAC method (Table 4). The result indicates that, even after drying process, pitaya peel can be considered as a medium ORAC value fruit, which means between 50 to 100  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$  (SPEISKY et al., 2012). This is probably due to the phenolic compounds that remain active in the sample. Fruits like Elliot blueberries and blackberries (80-100  $\mu\text{mol.Trolox.g}^{-1}$ ) have similar results, and they are higher than avocado, peach, almond (40-60  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ ) (SPEISKY et al., 2012) and peels as from grapefruit (45.7  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ ) (LADO et al., 2016). Due not to be exposed to high temperatures in processing, freeze-dried jaboticaba peel presented the higher value of antioxidant capacity (213  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ ) (LENQUISTE et al., 2015). Already some flours submitted to similar process conditions, such as from unripe banana (2.61  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ ) (Menezes et al., 2011) and from red guava (20  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ ) (NUNES et al., 2016), have antioxidant activity by ORAC method lower than those obtained in this study.

## **3.2 Characteristics of Ice Creams**

### *Chemical Parameters*

The centesimal composition of ice creams and their calorie content are shown in Table 5. It can be noted that with fat-rich ingredients replacement by pitaya fiber, it was obtained a significant reduction of 73.5 % on lipid content. This reduction was higher



than that obtained by Crizel *et al.*(2014), who produced lemon ice cream with orange fiber as a fat substitute and found 51% of reduction. In the work of Rossa *et al.* (2012), they studied the effect of microbial transglutaminase on properties of ice creams with different fat contents, but the fat reduction was also up to 50 %. Ice creams with 75 % lipid content substitution by gum combinations were evaluated for rheological, physical and sensory properties, and the results indicated that the ingredients were effective as fat replacers/stabilizers for low-fat ice creams (JAVIDI *et al.*, 2016).

Table 5. Chemical and physical parameters of ice cream samples

	C (%)	FR (%)
<b>Moisture</b>	63.80 ± 0.10 <sup>a</sup>	62.61 ± 0.02 <sup>b</sup>
<b>Proteins</b>	2.92 ± 0.22 <sup>b</sup>	3.93 ± 0.15 <sup>a</sup>
<b>Lipids</b>	7.06 ± 0.58 <sup>a</sup>	1.87 ± 0.07 <sup>b</sup>
<b>Ash</b>	0.81 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.16 ± 0.03 <sup>a</sup>
<b>Total dietary fiber (TDF)</b>	2.42 ± 0.16 <sup>b</sup>	3.47 ± 0.31 <sup>a</sup>
<b>Carbohydrates</b>	23.87 ± 0.87 <sup>a</sup>	25.71 ± 0.22 <sup>a</sup>
<b>Energy value (Kcal)</b>	172.81 ± 2.86 <sup>a</sup>	136.17 ± 0.63 <sup>b</sup>
<b><i>L</i>*</b>	31.52 ± 1.24 <sup>a</sup>	30.08 ± 0.94 <sup>a</sup>
<b><i>a</i>*</b>	12.68 ± 0.27 <sup>a</sup>	12.76 ± 0.99 <sup>a</sup>
<b><i>b</i>*</b>	5.65 ± 0.27 <sup>a</sup>	5.70 ± 0.54 <sup>a</sup>
<b><i>ΔE</i>*</b>	-	1.44 ± 0.26
<b>Melting rate (%.min<sup>-1</sup>)</b>	2.40 ± 0.18 <sup>a</sup>	2.95 ± 0.16 <sup>a</sup>
<b>Melting rate (g.min<sup>-1</sup>)</b>	0.76 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.91 ± 0.06 <sup>a</sup>
<b>Overrun (%)</b>	18.22 ± 1.43 <sup>b</sup>	26.30 ± 1.62 <sup>a</sup>
<b>Hardness (kg)</b>	1.19 ± 0.04 <sup>b</sup>	3.48 ± 0.13 <sup>a</sup>
<b>Cohesiveness</b>	0.41 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.82 ± 0.13 <sup>a</sup>
<b>Gumminess (kg)</b>	0.95 ± 0.09 <sup>b</sup>	2.30 ± 0.32 <sup>a</sup>
<b>Adhesiveness (kg.s)</b>	0.64 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>b</sup>

C = Ice cream control with 100 % of fat; FR = Ice cream with fat reduction

Mean values \_ standard deviation. Values with different letters in the same row are significantly different (P < 0.05) (Tukey test).

Strawberry ice cream with the addition of pitaya peel powder presented a higher protein value in relation to control, as well as, a higher mineral content, due to high ash content of the flour. Others authors when developing ice creams with fat reduction obtained similar protein and ash contents (0.9-3.9 %) (MCGHEE; JONES; PARK, 2015; ROSSA; BURIN; BORDIGNON-LUIZ, 2012). Low-fat goat milk ice creams, differently from ice creams developed in this work, had different carbohydrate values,

probably because of the original caprine milk composition and the addition of the commercial powder mix and sugar (MCGHEE; JONES; PARK, 2015).

The addition of pitaya fiber increased significantly total dietary fiber of ice cream, indicating another advantage of the ingredient use. In a study of Crizel *et al.*(2014), samples with 1.5 % orange fiber also had higher total dietary fiber values. In relation to energy value, there was a 21 % decrease in the total amount of calories of the reduced fat product, also improving its insertion in food restriction market niches.

### *Physical Parameters*

Physical parameters of color, melting rate and overrun from ice creams were evaluated (Table 5). Fat substitution by pitaya flour did not cause color changes in the products. The strawberry paste flavoring probably had the greatest effect on this characteristic, overcoming any color change by the addition of the fiber or by removal of fat.

Akbari *et al.*(2016) studied the effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low fat ice creams and did not use any paste flavoring in the samples. They verified the influence of fat reduction on the decrease of yellowness parameter ( $b^*$ ), because yellowness is directly correlated to fat content. In the work of Guo *et al.*(2018), ice creams with fat substitution by nano-bacterial cellulose and soy protein isolate were developed, and the researchers also observed the color change. The  $L^*$  values decreased, and  $a^*$  values increased with increasing of fat replacers.

According to the International Lighting Commission (CIE), absolute color difference ( $\Delta E^*$ ) values from 0 to 2 are unrecognizable by persons experienced in distinguishing the color (Heidelberg, 1999). The result of 1.44 confirms that there is no perceptible visual difference between the products developed. The flavoring of ice cream, besides improving its organoleptic characteristics, can be a good alternative to standardization of color, in case of formulation modifications.

Melting properties of ice creams can be influenced by many factors like solids content, ice crystal size, emulsifier characteristics, overrun, lipid and protein concentration and thermal diffusivity. High contents of fat reduce the melting rate due to a decrease in thermal diffusivity since fat has a protective effect on ice cream against heat penetration (AKBARI *et al.*, 2016; KURT; ATALAR, 2018). However, this study demonstrated that a large reduction on lipid amount did not cause a significant increase

in the melting rate of it (Table 5). The fiber addition of the fiber causes an increase in water retention capacity of the sample, which can improve its resistance to melting.

Liu *et al.* (2018) used soy protein hydrolysate and xanthan gum as fat substitutes in ice creams and obtained similar results for the melting rate ( $2.06 - 2.37 \text{ \%} \cdot \text{min}^{-1}$ ), as well as, the differences between the samples were not marked. In work of Crizel *et al.* (2014), products with 1.5 % orange fiber addition also presented this parameter close to control with fat. In another research on the influence of basil seed gum and guar gum on fat-reduced ice cream has shown that high concentrations of basil seed gum may increase the melting resistance ( $0.25-0.71 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ ) of ice creams (JAVIDI *et al.*, 2016). Thus, it can be concluded that fat replacement can be done carefully without impairing the quality of this frozen product.

Overrun is a parameter related to air incorporation into ice cream mixes, and it is an important indicator of volume and texture increase of them (KURT; ATALAR, 2018; LIU *et al.*, 2018). It is noted that the values found for strawberry ice creams (Table 5) are low and that the fat decreased the overrun of the product. The same happened with ice creams developed by Liu *et al.* (2018), where the sample with 10 % full fat had the lowest overrun compared to the low-fat products. Higher overrun can decrease meltdown rate due to influence on thermal diffusivity (AKBARI *et al.*, 2016), but in this study, the increase was not significant to have a considerable effect. Javidi *et al.* (2016) had similar overrun results (14 - 35 %) and verified that the viscosity of the mixtures is related with this parameter, and a certain viscosity is required for air incorporation, but a very high viscosity may prevent stirring and air incorporation.

### *Textural Properties*

The texture exerts a great influence on flavor perception in foods. The melting sensation in the mouth, for example, is related to the parameter of cohesiveness, an important characteristic for products as ice creams. The characteristic of hardness, in this case, is affected by many factors, like ice crystal size, ice phase volume and overrun (GÓRAL *et al.*, 2018). The ice cream is a food that needs to be sufficiently stable to be stored for a certain period and resist to pressure, but it cannot be too hard, because its final propose is to be consumed (Clarke, 2004).

As expected, the fat reduction caused changes in the product texture, increasing hardness. This is due to the growth of ice phase volume and ice crystal size (JAVIDI *et*

al., 2016; KURT; ATALAR, 2018). The increase in lipid content decreases the formation of ice crystals, resulting in a softer product (CRIZEL et al., 2014). The results of hardness (Table 5) were next to that of low-fat ice creams developed by Javidi *et al.* (2016), Liu *et al.* (2018) and Rossa *et al.* (2012). In the firsts, the addition of gums and fibers also resulted in higher firmness values.

The cohesiveness is related to how much the product resist to a second deformation enforced compared to a first. It also increased with fat substitution by pitaya fiber (Table 5). This result indicates an increase in the rate of recovery after compression force applied, and it as well happened with ice creams with 20 % and 30 % fat replacement by bacterial cellulose and soy protein isolate mixture (GUO et al., 2018). The value for gumminess (Table 5) was lower for the control sample, owing to this parameter being directly related to hardness and cohesiveness. Similar results were found by Crizel *et al.* (2014).

The adhesiveness was the unique parameter that decreased in the low-fat strawberry ice cream. This parameter is related to the work necessary to overcome the attractive forces between the surface of the product and the surface of the material which it comes in contact with (Clarke, 2004). The addition of the fat substitute must have caused the lowest adhesiveness. Akbari *et al.* (2016) evaluated that the use of inulin in different levels led to a lower adhesiveness for the low-fat ice creams. In the study of BahramParvar *et al.* (2013), the ingredient  $\kappa$ -carrageenan also decreased this parameter in the ice creams developed.

### *Rheological Characteristics*

The rheological behavior of ice creams developed is shown in Figure 9. These characteristics reflect the flow behavior and texture sensation on mouth, and they are important since the product is exposed to mechanical treatments such as blending and flowing through of equipments and pipes in continuous process systems (KURT; ATALAR, 2018).

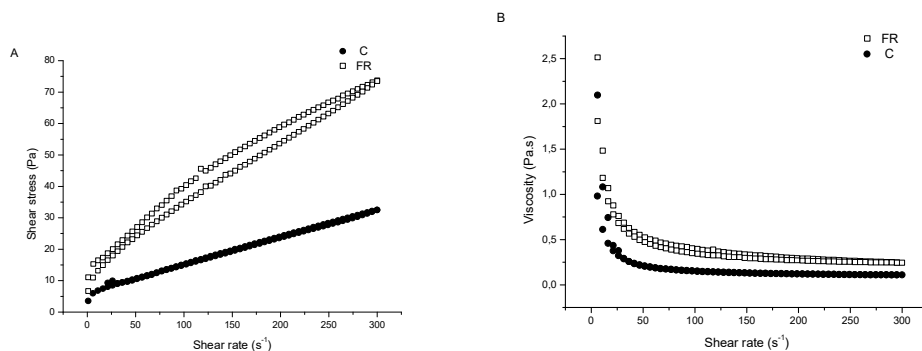


Figure 9. Flow curves of strawberry ice creams, shear stress vs. shear rate (A), apparent viscosity vs. shear rate (B).

C = Ice cream control with 100 % of fat; FR = Ice cream with fat reduction

The graph of shear stress by shear rate show a non-linear relationship between then, just as the viscosity shows a decay along the applied shear rate, indicating that the samples have a non Newtonian shear thinning behavior (DOGAN et al., 2013). This can be related to the aggregation of fat globules which decrease in size during shearing and influence the ice cream viscosity (ROSSA; BURIN; BORDIGNON-LUIZ, 2012).

The reduction of fat caused an increase of shear stress values, as well as, in the viscosity, indicating that a lower amount of fat leads to less creamy and firmer ice cream, corroborating with texture data measured analytically. The viscosity increase can also be explained by the fiber addition, as the rheology is affected by many factors like compounds addition and their concentration, fat crystallization and hydration phenomena. The presence of fiber causes water retention by the soluble fraction and increase of total solids content by the insoluble matter (SOUKOULIS; LEBESI; TZIA, 2009). The fiber of pitaya residue provides a good balance between the fractions, thus causing an improvement in flow resistance.

The Power Law model was the one that the best fit to the results found (Table 6). The consistency coefficient (K), a measure of viscosity that represents the texture and body of ice creams, increased with the addition of pitaya powder. It has already been verified that this coefficient depends on the type and concentration of fat replacers and fat content (JAVIDI et al., 2016). Shear thinning behavior with high values of shear stress and consistency coefficient is related to products stability at low shear rate process conditions (DOGAN et al., 2013; KURT; ATALAR, 2018). The flow behavior index ( $n$ ), obtained from a model application, was similar for both samples, and values

of  $n$  lower than 1 also indicate that the samples behaved as pseudoplastic fluids (ROSSA; BURIN; BORDIGNON-LUIZ, 2012).

Table 6. The apparent viscosity, the parameters of the Bingham model and thixotropic area of ice creams.

	Apparent viscosity	Power Law model parameters			Thixotropic Area
	Pa.s	$n$	$\tau = K(\dot{\gamma})^n$ K(Pa.s)	$R^2$	Pa.s <sup>-1</sup>
<b>C</b>	0.502 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.508 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.27 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.996	240 ± 19 <sup>b</sup>
<b>FR</b>	0.684 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.554 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.03 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.993	1034 ± 13 <sup>a</sup>

C = Ice cream control with 100 % of fat; FR = Ice cream with fat reduction

Mean values ± standard deviation. Values with different letters in the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ) (Tukey test).

The concentration of 1 % of pitaya peel flour added to ice cream increased significantly the apparent viscosity of the sample. Similar results were found by Kurte Atalar (2018), who used concentrations up to 0.75 % of quince seed powder. The authors attributed the increase to the molecular weight and to the water-binding capacity of the compound added. The results are consistent also with the study of Liuet *al.* (2018), and they observed that the viscosity was lower when the fat was removed without any substitution. Great values of yield stress and viscosity of emulsion systems are associated with a decreased possibility of phase separation during creaming and sedimentation (KURT; ATALAR, 2018).

The area obtained between the curves of the shear stress versus shear rate give an important characteristic of ice creams, the hysteresis, that indicates that the fluid viscosity is time-dependent (ROSSA; BURIN; BORDIGNON-LUIZ, 2012). The areas are the measure of the extent of thixotropy, and the more viscous sample presented the higher thixotropy, as already observed by other authors (KURT; CENGIZ; KAHYAOGU, 2016; ROSSA; BURIN; BORDIGNON-LUIZ, 2012). The pronounced increase must be due to the synergistic effect of both soluble and insoluble fibers (SOUKOULIS; LEBESI; TZIA, 2009). This parameter represents the ability of the samples to recover their structure after the shearing forces. Thus, a higher thixotropic area is an indicator of lower structure recoverability and the need for more energy to eliminate time influence (ESPÍRITO-SANTO et al., 2013; KURT; ATALAR, 2018).

## Sensory Analysis

The results of sensory evaluation revealed that the difference in the consistency of developed ice creams was not perceived by the panelists (Table 7). Regarding the other parameters, the low-fat ice cream received lower scores, but still above or next to 7.0, suggesting a high acceptance by the consumers. Aftertaste was the worst evaluated item indicating that the addition of this amount of fat substitute gave a slightly unpleasant final taste to the palate of the judges. Nevertheless, the overall acceptability (7.0) was higher than 70 %, the minimum required for it to be released on the food market, and the product would be aimed to a specific public worried with health, what will probably increase the general acceptance.

Table 7. Results of the sensory evaluation of strawberry ice creams.

Sample	Appearance	Color	Aftertaste	Texture	Flavor	Odor	Overall acceptability
<b>C</b>		7.88 ±		7.5 ±	7.86 ±	7.6 ±	
	7.98 ± 1.01 <sup>a</sup>	1.06 <sup>a</sup>	7.5 ± 1.70 <sup>a</sup>	1.37 <sup>a</sup>	1.34 <sup>a</sup>	1.29 <sup>a</sup>	7.78 ± 1.11 <sup>a</sup>
<b>FR</b>		7.24 ±	6.46 ±	7.08 ±	6.7 ±	6.98 ±	
	7.38 ± 1.21 <sup>b</sup>	1.30 <sup>b</sup>	1.74 <sup>b</sup>	1.5 <sup>a</sup>	1.85 <sup>b</sup>	1.27 <sup>b</sup>	6.96 ± 1.53 <sup>b</sup>

C = Ice cream control with 100 % of fat; FR = Ice cream with fat reduction

Mean values \_ standard deviation. Values with different letters in the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ) (Tukey test).

In the study of Kurte Atalar (2018), sensory properties of ice creams were not affected by the addition of quince seed powder up to 0.75 %, and in this case, the fat replacer increased the acceptability of the product. The use of inulin and locust bean flour also improved the taste and the creamy consistence in coconut ice creams (GÓRAL et al., 2018).

In ice creams with xanthan gum and soy protein hydrolysate, sensorial characteristics of appearance, taste, texture and overall performance had a gradual decrease of scores with the increase in percentage of fat reduction when evaluated by tasters, with the substitution of up to 50 % of fat acceptable (LIU et al., 2018). The use of orange peel fiber also decreased the average acceptance from 7.9 to values up to 5.7 of lemon ice creams produced by Crizel *et al.* (2014), and the aftertaste and flavor were too negatively affected by the addition of the powder. Also, low-fat ice creams

containing different levels of inulin did not show significant differences in sensory parameters of appearance, texture, and flavor compared to the control with fat, and the fat removal, without the use of any additive, lowered the received scores, proving that this ingredient exerts a great influence on the sensorial characteristics of this kind of product (AKBARI et al., 2016).

#### 4. Conclusion

The red pitaya peel flour shows good technological and physicochemical properties, and it is an excellent source of dietetic fibers and minerals. These allow the product to be inserted in the human diet and used in the nutritional and technological improvement of food products. The powder produced still presents good pigments retention and antioxidant activity, bringing thus health benefits to the organism. The application of this ingredient as a fat replacer resulted in a low-fat product with adequate physical characteristics. The strawberry ice creams developed have great texture, and the fat and energy value reduction was significant. Rheological and overrun properties had improvement by the pitaya peel powder addition, and melting rate and color were not affected. The products had high sensorial acceptance and, despite differences in scores, both samples were in general well evaluated by the consumers, indicating that pitaya fiber is a potential fat replacer in ice creams.

#### 5. References

- AJILA, C. M. et al. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 1, p. 219–224, 2010.
- AKBARI, M. et al. The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. **International Dairy Journal**, v. 57, p. 52–55, 2016.
- BAHRAMPARVAR, M.; TEHRANI, M. M.; RAZAVI, S. M. A. Effects of a novel stabilizer blend and presence of  $\kappa$ -carrageenan on some properties of vanilla ice cream during storage. **Food Bioscience**, v. 3, p. 10–18, 2013.
- BAKAR, J. et al. Spray-Drying Optimization for Red Pitaya Peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 5, p. 1332–1342, 2013.
- BASTIEN, M. et al. Overview of epidemiology and contribution of obesity to cardiovascular disease. **Progress in Cardiovascular Diseases**, v. 56, n. 4, p. 369–381, 2014.
- CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420–428, 2005.



CHEN, X. et al. Hydrochar production from watermelon peel by hydrothermal carbonization. **Bioresource Technology**, v. 241, p. 236–243, 2017.

CRIZEL, T. DE M. et al. Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 9–14, 2013.

CRIZEL, T. DE M. et al. Orange fiber as a novel fat replacer in lemon ice cream. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 34, n. 2, p. 332–340, 2014.

CRIZEL, T. DE M. et al. Evaluation of bioactive compounds, chemical and technological properties of fruits byproducts powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 11, p. 4067–4075, 2016.

DOGAN, M. et al. Steady, Dynamic, Creep, and Recovery Analysis of Ice Cream Mixes Added with Different Concentrations of Xanthan Gum. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 6, p. 1420–1433, 2013.

DOUGLAS GOFF, H.; HARTEL, R. W. **Ice cream**. [s.l: s.n.].

ESPÍRITO-SANTO, A. P. et al. Rheology, spontaneous whey separation, microstructure and sensorial characteristics of probiotic yoghurts enriched with passion fruit fiber. **Food Research International**, v. 50, n. 1, p. 224–231, 2013.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. et al. Storage stability of a high dietary fibre powder from orange by-products. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, n. 4, p. 748–756, 2009.

GORAL, M. et al. Impact of stabilizers on the freezing process, and physicochemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream. **Lwt**, v. 92, n. March, p. 516–522, 2018.

GUO, Y. et al. Nano-bacterial cellulose/soy protein isolate complex gel as fat substitutes in ice cream model. **Carbohydrate Polymers**, v. 198, n. March, p. 620–630, 2018.

GURAK, P. D. et al. Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: A comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. **Food Research International**, v. 62, p. 786–792, 2014.

JAMILAH, B. et al. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **International Food Research Journal**, v. 18, n. 1, p. 279–286, 2011.

JAVIDI, F. et al. The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 625–633, 2016.

KURT, A.; ATALAR, I. **Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream** **Food Hydrocolloids**, 2018.

KURT, A.; CENGİZ, A.; KAHYAĞLU, T. The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salep based ice cream mix. **Carbohydrate Polymers**, v. 143, p. 116–123, 2016.

LADO, J. et al. Implication of the antioxidant system in chilling injury tolerance in the red peel of grapefruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p. 214–223, 2016.

LARRAURI, J. A. New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 3–8, 1999.

LEÃO, D. P. et al. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146–153, 2017.

LENQUISTE, S. A. et al. Jaboticaba peel and jaboticaba peel aqueous extract shows in vitro and in vivo antioxidant properties in obesity model. **Food Research International**, v. 77, p. 162–170, 2015.

LEONG, H. Y. et al. Investigation of betacyanins stability from peel and flesh of red-

- purple pitaya with food additives supplementation and pH treatments. **Lwt**, v. 98, n. September, p. 546–558, 2018.
- LI, N. et al. Structural, rheological and functional properties of modified soluble dietary fiber from tomato peels. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 557–565, 2018.
- LIU, R. et al. Fabricating soy protein hydrolysate/xanthan gum as fat replacer in ice cream by combined enzymatic and heat-shearing treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 81, p. 39–47, 2018.
- LÓPEZ-VARGAS, J. H. et al. Chemical, Physico-chemical, Technological, Antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 756–763, 2013.
- LV, J. et al. Phytochemical compositions, and antioxidant properties, and antiproliferative activities of wheat flour. **Food Chemistry**, v. 135, n. 2, p. 325–331, 2012.
- MCGHEE, C. E.; JONES, J. O.; PARK, Y. W. Evaluation of textural and sensory characteristics of three types of low-fat goat milk ice cream. **Small Ruminant Research**, v. 123, n. 2–3, p. 293–300, 2015.
- MEILGAARD, M. C. **Sensory Evaluation Techniques**. 5. ed. [s.l.: s.n.].
- MENEZES, E. W. et al. Chemical Composition and Nutritional Value of Unripe Banana Flour (*Musa acuminata*, var. *Nanicão*). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 66, n. 3, p. 231–237, 2011.
- MERCADO-SILVA, E. M. **Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw)**. [s.l.] Elsevier Inc., 2018.
- MOORE, J. et al. Carotenoid, tocopherol, phenolic acid, and antioxidant properties of Maryland-grown soft wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 17, p. 6649–6657, 2005.
- MUNIR, A. et al. Evaluation of antioxidant potential of vegetables waste. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 27, n. 2, p. 947–952, 2018.
- NUNES, J. C. et al. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. **Food Chemistry**, v. 197, p. 881–890, 2016.
- PATHAK, P. D.; MANDAVGANE, S. A.; KULKARNI, B. D. Fruit Peel Waste: Characterization and its Potential Uses. **Current Science**, v. 113, n. 3, p. 444, 2017.
- PRIOR, R. L. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC): New horizons in relating dietary antioxidants/bioactives and health benefits. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 797–810, 2015.
- ROSSA, P. N.; BURIN, V. M.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 224–230, 2012.
- SANDATE-FLORES, L. et al. Evaluation of different methods for betanin quantification in pitaya (*Stenocereus* spp.). **Agro Food Industry Hi-Tech**, v. 27, n. 1, p. 20–24, 2016.
- SOUKOULIS, C.; LEBESI, D.; TZIA, C. Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. **Food Chemistry**, v. 115, n. 2, p. 665–671, 2009.
- SPEISKY, H. et al. First web-based database on total phenolics and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) of fruits produced and consumed within the south andes region of South America. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 36, p. 8851–8859, 2012.
- WU, L. C. et al. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food**

**Chemistry**, v. 95, n. 2, p. 319–327, 2006.

ZHUANG, Y.; ZHANG, Y.; SUN, L. Characteristics of fibre-rich powder and antioxidant activity of pitaya (*Hylocereus undatus*) peels. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1279–1285, 2012.

## **7. MICROENCAPSULATION OF BETALAINS FROM RED PITAYA PULP (*Hylocereus polyrhizus*) BY SPRAY-DRYING WITH DIFFERENT ENCAPSULATING AGENTS**

Michele Utpott, Renato Queiroz Assis, Carlos Henrique Pagno, Sheila Pereira Krigger, Eliseu Rodrigues, Alessandro de Oliveira Rios, Simone HickmannFlôres

### **Abstract**

Betalain microcapsules from red pitaya were developed to be applied as natural pigments in food products. Maltodextrin in combination with residues as gelatin from nutraceutical capsules and mucilage from fruit peel were used as wall materials. The powders were characterized by their physicochemical properties, as moisture, water activity, color, and size, as to encapsulation yield and efficiency, morphology, betalain content and glass transition temperature. The storage stability and the application in a food model system were also evaluated. The capsules present low moisture, water activity, and yield contents, and high values of betalains, the efficiency of encapsulation and glass transition temperature. Morphology and size of the three powders were adequate, and the microcapsule with mucilage was highlighted in relation to its stability under the studied storage conditions. The addition of the compounds in yogurts proved the great potential of betalains encapsulated as natural pigments for the food industry.

### **1. Introduction**

Color affects the appearance of foods, being directly associated with the perception of the quality of products (DOWNHAM; COLLINS, 2000). Consumer's demand for more natural and healthy products has challenged the industry to search new sources of pigments in order to replace the artificial colorants. The occurrence of intolerance and allergenic responses in last years has alerted consumers and manufacturers to the importance of using natural ingredients as food dyes (LEONG et al., 2018). However, the stability of natural pigments compared to artificial ones needs to be overcome (OTÁLORA et al., 2015). Thus, researches in this area are necessary and of great interest to the food industry.

Studies on the use of betalains as a source of natural pigments in models of food systems are limited and essential to demonstrate their potentiality (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2017). The betalains are water-soluble nitrogen-containing pigments, composed of two structural groups: the red-violet betacyanins and the yellow-orange betaxanthins. Red beet (*Beta vulgaris* L.) is the main commercial source of betacyanins, but, it has an unpleasant earth-like flavor. Cactus fruits with high contents of betalains, in contrast to red beets, can be used in food without causing a negative effect on flavor (AZEREDO, 2009; VERGARA et al., 2014).

Red-purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) or red dragon fruit is native to Mexico, Central, and South America, and belongs to the family of *Cactaceae* (LEONG et al., 2018). The interest in this fruit has increased due to its color, format and health properties. Betacyanins are responsible for its deep purple-colored, being betanin the most widely studied betacyanin, which has already shown several benefits to organism human (CHOO et al., 2018). It has been demonstrated that betacyanins from red pitaya have potential application as a natural pigment in dairy products like milk and yogurt (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2017, 2016).

Betalains stability is affected by many factors, such as temperature, oxygen, pH, water activity and presence of light (CASTELLAR et al., 2003; GONÇALVES et al., 2013; PEDREÑO; ESCRIBANO, 2001; TSAI et al., 2010). The action of degradation parameters can be minimized with the use of technologies like microencapsulation. Among the encapsulation methods, spray drying is the most commonly used for food. However, quality and efficiency of final product obtained may be influenced by the type of encapsulating agent and type of food matrix, being the choice of encapsulating agent important in the microencapsulation process (MÉNDEZ-LAGUNAS et al., 2013; OTÁLORA et al., 2015).

Carbohydrates as maltodextrins and gums are widely applied as wall materials, and their use in combination with proteins has improved the properties of aggregation, gelation and emulsion formation of microcapsules (AUGUSTIN; HEMAR, 2009; DAVIDOV-PARDO; AROZARENA; MARÍN-ARROYO, 2013). Among proteins, gelatin has been used to improve the consistency and stability of food products (SINTHUSAMRAN; BENJAKUL; KISHIMURA, 2015). The gelatin can be obtained from residues produced by a pharmaceutical industry that generates a residue based on gelatin, glycerol, and water from nutraceutical gelatin capsules, and it has great

potential to be used as an encapsulating material to deliver bioactive food compounds with active principles (IAHNKE et al., 2015).

Also, it has been reported that mucilages from cactus as from *Opuntia ficus-indica* has also protecting effect during the encapsulating process (OTÁLORA et al., 2015). Mucilages are polymers that have a complex chemical structure, and they are capable of forming large molecular aggregates. Thus, their addition in aqueous solutions can modify viscosity characteristics of the dispersions (ESPINO-DÍAZ et al., 2010; THANATCHA; PRANEE, 2007). This hydrocolloid is a low cost alternative for the food industry with potential applications as thickening agent, stabilizer, or emulsifier (DICK et al., 2019).

Thus, this work aimed the microencapsulation of the betacyanins present in red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) by spray drying, using maltodextrin, gelatin and mucilage from pitaya peel as wall materials, and the characterization and application of the obtained powders in yogurt.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1 Materials**

Red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruits were provided by Pitaya do Brasil group, located in Novo Hamburgo city, state of Rio Grande do Sul, Brazil. Maltodextrin DE20 Vallens (Porto Alegre, Brazil), mucilage extracted from pitaya peel and gelatin were used as wall materials. Gelatin capsule residue, derived from the production of linseed oil nutraceutical capsules, was supplied by the Chemical Pharmaceutical Tiaraju Laboratory (Rio Grande do Sul, Brazil). The gelatin used to produce the capsules was from bovine source and molecular weight about 110 kDa. All reactants were of analytical grade and suitable for High-Pressure Liquid Chromatography (HPLC). The betanin standard was from Sigma Aldrich.

### **2.2 Mucilage Extraction**

The mucilage extraction from red pitaya peels followed the procedure of Dick *et al.* (2019) with some modifications. The peels were cut into small pieces, crushed in a food processor (Philips Walita®, RI7762/91, Brazil) and homogenized in water in a

proportion of 1:2 (pitaya peel: water). The mixture was mechanically stirred at 700 rpm and heated to 80 °C for 30 minutes. Then, it was submitted to centrifugation (10,000 g, 20 min, 20 °C) (Hitachi, CR 21GIII, Japan). The supernatant obtained was precipitated with ethanol 95 % in the ratio of 1:3 v/v (supernatant: ethanol) and centrifuged again at the same conditions. The pellet was dried in an oven with air flow circulation at 40 °C during 24 hours. The sample was ground by gentle grinding with a mortar and pestle and subsequently sieved through a 115–mesh to obtain the mucilage powder with standard granulometry.

### **2.3 Preparation of Betalain Microcapsules**

Pigment extraction was according to methods described by Tang; Norziah (2007) and Sandate-Flores *et al.* (2016) with adaptations. The pulp was homogenized with acidified water (1% v/v citric acid) in a proportion of 1:1 (pitaya pulp/solvent) during 30 minutes in a mechanical stirrer. Then the seeds, fibers and mucilaginous material were separated from betalain extract by centrifugation at 3000 g, for 15 minutes at 4 °C. The supernatant was collected, and the wall materials were added; the solution was shaken for more 30 minutes before drying.

Three different solutions with encapsulating agents were used to obtaining the microencapsulated powders, with the following composition: 10% maltodextrin (MC), 10% maltodextrin and 1% mucilage (MU), and 10% maltodextrin and 1% gelatin (MG). The drying process was carried out using a laboratory-scale Spray Dryer MSDi 1.0 (LabMaq, Brazil), with dimensions of 1800 x 720 x 650 mm. The operation parameters were: 0.4 L.h<sup>-1</sup> of feed flow, 130°C and 75°C of the inlet and outlet air temperatures, respectively. The internal nozzle diameter was 0.7 mm.

### **2.4 Microencapsulated Powder Characterization**

#### *Moisture and Water Activity*

The content of moisture was determined according to the AOAC official methods (Association of Official Analytical Chemist, 2005). The water activity ( $a_w$ ) was measured in HygroPalm (Rotronic, Switzerland) water activity analyzer.

### *Encapsulation Yield (EY)*

The powder yield was calculated following equation (1), based on Lee *et al.*(2013):

$$EY(\%) = \frac{W_p - (X_{wb} \times W_p)}{V_s \times S_t} \times 100 \quad (1)$$

Where: EY is encapsulation yield (%);  $W_p$  is powder weight (g);  $X_{wb}$  is the moisture content of the powders on a wet base (wb);  $V_s$  is the volume of sample fed into the dryer (L); and  $S_t$  is the total solids (g dry matter/L), determined by Equation 2:

$$S_t = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (2)$$

Where:  $W_2$  is the capsule weight with dry residue (g);  $W_1$  is the capsule weight (g), and  $V$  is the sample volume ( $\text{cm}^3$ ).

### *Color*

The color was measured using a Minolta CR-400 colorimeter (Konica Minolta, Japan), with  $D_{65}$  as an illuminant. The evaluated parameters from CIELAB system were lightness ( $L^*$ ), red/green ( $a^*$ ) and yellow/blue ( $b^*$ ).

The other parameters, chroma ( $C_{ab}^*$ ) and hue ( $h_{ab}$ ), were calculated according to the following Eqs. (3) and (4) (OTÁLORA *et al.*, 2015):

$$C_{ab}^* = [(a^{*2}) + (b^{*2})]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4)$$



### *Betalain Content by HPLC-DAD*

The quantification of betalains of microcapsules was made by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), through a standard curve of betanin. The Shimadzu HPLC-system (Kyoto, Japan) was equipped with two LC-20AD pumps, a degasser DGU-20A, an autosampler SIL20AHT, a CTO-20A column oven, and a diode array detection system SPD-M20A (DAD). The methodology applied was following Stintzing *et al.* (2002), the compounds were separated in a C<sub>18</sub> reversed phase column with a particle size of 5 µm (250 x 4 mm; RP-18; Merck; Germany), at a flow rate of 0.9 mL.min<sup>-1</sup> and temperature of 29 °C. The mobile phase A consisted of 2% (v/v) acetic acid in water, and the mobile phase B was 0.5 % acetic acid in water and acetonitrile (50/50, v/v). The elution was carried out following a linear gradient from 10% B in A to 27% B in A in 44 min. Simultaneous monitoring was performed at 538 and 476 nm for betacyanins and betaxanthins, respectively.

Total betanin of the microcapsules was determined according to the method described by Stoll *et al.* (2016) with some modifications. Approximately 50 mg of each sample was extracted with 8 mL of acidified methanol/water (50:50), ultrasonicated (Unique, USC 1400A, Brazil) for 5 minutes and centrifuged (Hitachi, model CR 21GIII, Japan) at 3,500 g for 10 min. The process was made until total loss of color. The supernatant was filtered in membrane 0.45 µm before injection in HPLC.

### *Betalain Analysis by HPLC-MS/MS*

Semipurification of the sample was done according to Stintzing *et al.* (2002a). The C<sub>18</sub> cartridge was activated with 2 volumes (1 volume = 6 mL) of methanol and rinsed with 3 volumes of 1% (v/v) acetic acid in water (pH 3). The extract (2 mL) was applied with 3 volumes of acidified water into the minicolumn. The fractionation was done with 1 volume of methanol 100% followed by 1 volume of methanol/acidified water (95:5). The fractions were then concentrated in rotary evaporation at 30°C and resuspended in purified water.

Applying the same method and column, the analyses were performed using the equipment connected in series with a Bruker Daltonics mass spectrometer (micrOTOF-Q II, Bremen, Germany) fitted with an electrospray ionization source operating in the positive ionization mode. Nitrogen was used as dry gas in a pressure of 30 psi. The

parameters were 3.0 kV for capillary, 0.5 kV end plate offset, temperature and gas flow of 310 °C and 8 L.min<sup>-1</sup>, respectively. Fragmentation was done in automatic mode.

#### *The Efficiency of Encapsulation (EE)*

The efficiency of encapsulation was calculated following the procedure of Stoll *et al.* (2016) as the equation below (5). It was defined as the difference between the betanin retention (BR), and the betanin located in the microcapsule surface (BS). The betanin retention (BR) was considered as the percentage of pigment retained in the powders in relation to the pulp extract. The betanin surface (BS) was determined using 1 g of each sample extracted with 5 mL of a mixture of ethanol: methanol (1:1), stirred in a Vortex (Kasvi, K40-1020, Brazil) for 1 min and then centrifuged (Hitachi, model CR 21GIII, Japan) at 3.500 g for 10 min. The supernatant was filtered in membrane 0.45 µm before infection in HPLC.

$$EE(\%) = \frac{(BR - BS)}{BR} \times 100 \quad (5)$$

#### *Particle Morphology and Size*

The morphology of the powders was evaluated by scanning electron microscopy (SEM) using the equipment JSM-6060 (JEOL, USA). The samples were attached in stubs with a two-sided metallic adhesive tape, and the stubs were coated with gold. The voltage used was 10 kV, and they were examined at 250, 500 and 1,500 x magnifications.

The particle size distribution was determined by laser light scattering with a Mastersizer 2000 Malvern Instruments Ltd. (Worcestershire, UK). The data were analyzed by Mastersizer 2000® 5.61 software program, and span value was obtained by dividing the difference between d0.9 and d0.1 by d0.5, where d0.9, d0.1, and d0.5 are the diameters at 90, 10, and 50% of the cumulative size distribution curve, respectively.

## *Glass Transition Temperature*

The glass transition temperature ( $T_g$ ) was determined by a Differential Scanning Calorimeter (model DSC 8500, Perkin Elmer Corporation, Wellesley, USA), based on the methodology of Janiszewska-Turak *et al.* (2017). The equipment was coupled with a cooling system of Liquid Nitrogen (Cryofab INC, USA) and calibrated with Indium (Melt temperature 156.60 °C, Transition Energy 28.45 J/g). Dry nitrogen was used as the purge gas (20 mL.min<sup>-1</sup>). A quantity between 5 and 10 mg of the microcapsules was scanned in a hermetically sealed aluminum pan, and an empty aluminum pan was used as a reference. The samples were heated at 10 °C.min<sup>-1</sup> from 25 to 150 °C and then cooled to 25 °C at 50 °C.min<sup>-1</sup>.

### **2.5 Accelerated Storage Stability of Microencapsulated Powders**

The powders were placed in Petri dishes (21,9 x 143 mm) and stored at 40 ± 1 °C with 55-60% RH and 1600 lx in a chamber with photoperiod (NL-41-01, NewLab, Brazil) for 50 days. The stability was evaluated every 5 days by quantification of betacyanins, color analysis and monitoring of water activity.

For betalains determination, about 0.05 g of each sample was dissolved in 2 mL of water, and the betacyanin content was measured by absorbance at 538 nm using a spectrophotometer, according to the following equation (LEONG *et al.*, 2018):

$$BC \text{ (Betacyanin concentration)} = \frac{A \times MW \times V \times DF}{\epsilon \times L \times W} \quad (6)$$

Where: BC is the betacyanin concentration in milligrams per 100g dry matter, A is the absorption value at the absorption maximum ( $\lambda_{\text{max}} = 538 \text{ nm}$ ), DF is the dilution factor, MW is the molecular weight of betanin (550 g.mol<sup>-1</sup>), V is the volume of extract (mL),  $\epsilon$  is the molar extinction coefficient of betanin ( $\epsilon = 65000 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ), L is the pathlength of the cuvette and W is the weight of dry powder.

The color was determined with Minolta CR-400 colorimeter (Konica Minolta, Japan), with D<sub>65</sub> as illuminant, using the same CIELAB system parameters.

## 2.6 Application in a Food Model System

### *Addition of Betalain Capsules in Yogurt*

Quantities of 1 g of the more stable microcapsules (MC and MU) were added to a commercial yogurt (200 g). The volume of 6.5 mL of liquid extract of pitaya was added to the same yogurt to compare the color stability during the shelf life of the product. The color standardization of the three products was performed by the parameters of the CIELAB colorimetric analysis system, with  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  values close to 45, 12 and -3, respectively. Yogurt samples were evaluated through the determination of total betalains and color analysis by colorimeter (Konica Minolta, Japan).

### *Determination of Betalains in Yogurt*

The extraction of betalains was performed following the methodology of Güneşer (2015), with some adaptations. A volume of 5 mL of yogurt was mixed with 3 mL of a solution of 8% trichloroacetic acid in water. The mixture was homogenized in a Vortex (Kasvi, K40-1020, Brazil) for 3 min and centrifuged at 6000 g for 10 min at 25°C (Hitachi, CR 21GIII, Japan). Extration was exhaustive. The supernatant was filtered through a 0.45 µm filter, and betacyanin content was measured in a spectrophotometer at 538 nm and calculated according to equation (6).

## 2.7 Statistical Analysis

The results were computed by Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey's test, at the 5% level of significance, using Statistica 13.0 software.

### 3. Result and Discussion

#### 3.1 Characterization of Microencapsulates

##### *Moisture and Water Activity*

The main characteristics of the encapsulated powders are presented in Table 8. The results found for moisture and water activity ( $a_w$ ) of the three microcapsules were adequate to a safe application, once low moisture contents and values of  $a_w$  below than 0.6 reduce to a minimum the microbial deterioration in foods (OTÁLORA *et al.*, 2015).

Moisture contents of encapsulated powders were according to those reported by Bazaria e Kumar (2017) (1.26-2.88%), who encapsulated beetroot juice with maltodextrin and Arabic gum as wall materials. This study show that the combination of maltodextrin with others ingredients such as mucilage and gelatin reduced moisture and also water activity, due to the increase in total solids content of the extract and to the moisture that needs to be evaporated in the drying process, which is in agreement with studies of Bazaria e Kumar (2016) and Otálora *et al.* (2015).

*Table 8. Chemical and physical characteristics of the betalain microcapsules.*

Parameter	MC	MU	MG
<b>Moisture (%)</b>	3.02 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.19 ± 0.04 <sup>b</sup>
<b>Water activity (<math>a_w</math>)</b>	0.130 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.120 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.120 ± 0.02 <sup>b</sup>
<b>Encapsulation yield (EY%)</b>	24.23	24.78	15.89
<b><math>L^*</math></b>	38.11 ± 1.45 <sup>a</sup>	38.63 ± 1.73 <sup>a</sup>	39.79 ± 1.10 <sup>a</sup>
<b><math>a^*</math></b>	37.52 ± 2.47 <sup>a</sup>	35.33 ± 3.23 <sup>a</sup>	28.94 ± 2.73 <sup>b</sup>
<b><math>b^*</math></b>	-15.82 ± 1.12 <sup>a</sup>	-14.45 ± 1.02 <sup>ab</sup>	-12.03 ± 1.18 <sup>b</sup>
<b>Chroma (<math>C_{ab}^*</math>)</b>	40.71 ± 2.7 <sup>a</sup>	38.17 ± 3.37 <sup>a</sup>	31.34 ± 2.95 <sup>b</sup>
<b>Hue angle (<math>h_{ab}</math>)</b>	337.14 ± 0.25 <sup>a</sup>	337.74 ± 0.44 <sup>a</sup>	337.43 ± 0.68 <sup>a</sup>
<b>Betalain content*</b>	0.48 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.58 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.01 <sup>a</sup>
<b>Efficiency of Encapsulation(EE%)</b>	92.51 ± 0.65 <sup>b</sup>	93.87 ± 0.57 <sup>a</sup>	93.78 ± 0.15 <sup>ab</sup>
<b>Particle size D (4,3) (µm)</b>	8.82 ± 0.47 <sup>c</sup>	10.93 ± 0.40 <sup>b</sup>	15.10 ± 0.47 <sup>a</sup>
<b>Glass transition temperature <math>T_g</math> (°C)</b>	84.4	84.5	85.1

\*expressed as mg betanineequivalent.g solid<sup>-1</sup>

MC: microcapsule with 10% maltodextrin; MU: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage; MG: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% gelatin.

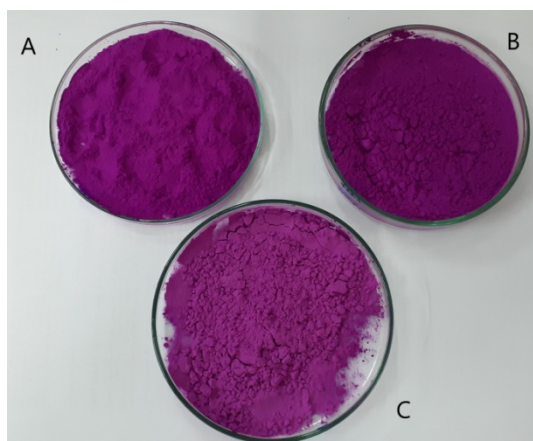
Mean values \_ standard deviation. Values with different letters in the same row are significantly different ( $P < 0.05$ ) (Tukey test).

### *Encapsulation Yield*

The betalain liquid extract had total solids content next to 3.8%, leading to low encapsulation yields (*EY*), and these values are proportional to the encapsulating agent concentration. The results are according to the work of Otálora *et al.*(2015) (16.4-25.4%), that studied the encapsulation of betalains from cactus fruit using cladode mucilage and maltodextrin as wall materials. The lowest value for the microcapsule with gelatin (MG) is probably due to gelatin sticking in the dryen wall of the spray dryer, what is not recovered, and this has been related by Kanwate *et al.*(2019). The addition of mucilage from pitaya peel did not change the final yield of the powder (MU), comparing to the control sample developed with only maltodextrin (MC). Delia *et al.*(2019) presented higher results, but with great variability (42-82%) when betalain microcapsules were produced from cactus fruit of species *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* using cladode mucilage of *Opuntiaficus-indica*.

### *Color and Betalain Content*

The three different microcapsules produced presented color parameters  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  very similar, indicating that the samples had a very close color tonality (Fig. 11). The use of gelatin caused a reduction in  $a^*$  value and an increase in  $b^*$  value in comparison to the control sample, causing a decrease in chroma ( $C_{ab}^*$ ). This may be due to the yellowish color of the gelatin residue. Parameter  $a^*$  value of powders produced were slightly lower than found by authors who spray dried dragon fruit juices with maltodextrin concentration of 30% ( $a^* = 40.6$ ) (LEE; WU; SIOW, 2013), and also than the powders obtained from other pitaya species ( $a^* = 41.7-44.2$ ) (GARCÍA-LUCAS *et al.*, 2016). Results of hue angle close to  $340^\circ$  were consistent with the magenta purple ton, similarly to pitaya powders with maltodextrin developed by Shaaruddin *et al.*(2017).



*Figure 10. Microcapsules of betalains from red pitaya pulp*

A = MU; B = MC; C = MG

MC: microcapsule with 10% maltodextrin; MU: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage; MG: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% gelatin.

The highest  $a^*$  value, which is associated with redness, and chroma value, which means higher saturation of color, however, are not related to the highest betalain content (Table 8). This difference can occur because Colorimeter measures tonality of the surface of the powders, which allow better light reflection (SHAARUDDIN *et al.*, 2017). The total betanin content differs between the encapsulated and was similar to results of Otálora *et al.*(2015) ( $0.50 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), but in this case, indicating that the type of encapsulating agent affected pigment retention. The results for betanin were even higher than obtained by Vergara *et al.*(2014) ( $0.36 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), who worked with cactus pear extract microencapsulated with modified corn starch.

#### *Betalains Identification*

Six peaks were identified in the red pitaya extract injected in the mass spectrometer (Table 9). The individual betacyanins were evaluated based on their UV-Vis detection, chromatic behavior, molecular mass, retention time and on references authors who identified compounds of the same species of pitaya (FATHORDOOBADY *et al.*, 2016; STINTZING; SCHIEBER; CARLE, 2002a). According to these researches, the main betacyanin components of *Hylocereus polyrhizus* are betanin, phyllocactin, hydroceroenin and their corresponding isomers. The first peak was identified as betanin, following by its isomer isobatanin.

Table 9. Compounds identified in the red pitaya flesh extract (*Hylocereus polyrhizus*)

Peak number	Definitive Name	[M + H] <sup>+</sup>	MS <sup>2</sup>	Retention time (R <sub>t</sub> ) (min)	λ (nm)
1	Betanidin-5-O-β-glucoside (Betanin)	551.2197	539.2175	7.6	538
2	Isobetanidin-5-O-β-glucoside (Isobetanin)	551.2197		10.2	538
3	Betanidin-5-O-(6'-O-malonyl)-β-glucoside (Phylloactin)	637.2296		13.7	538
4	Isobetanidin-5-O-(6'-O-malonyl)-β-glucoside (Isophylloactin)	637.2296		15.2	538
5	Betanidin-5-O-(6'-O-3-hydroxy-butyryl)-β-glucoside (Iso-butyrylbetanin)	637.2344		16.8	538
6	Unknown betacyanin	593.2341		20.3	538

The two subsequent peaks also had the same protonated molecular ions [M + H]<sup>+</sup>, meaning two additional isomers. A longer retention time indicates a compound with a more complex chemical structure in relation to betanin, and more difficult to separate in the column. According to Stintzing *et al.* (2002b), the groupings connected to betacyanin structures are aliphatic acyl groups, corresponding to phylloactin compound and its isomer isophylloactin. The compound hylocerenin was not detected, probably because it is present in not significant quantities, below the detection limit of the equipment. Peak number 5 was identified by retention time and molecular mass as iso-butyrylbetanin, the molecule also reported in this fruit species studied by other authors (FATHORDOOBADY *et al.*, 2016; STINTZING; SCHIEBER; CARLE, 2002a).

#### *Efficiency of Encapsulation (EE)*

High encapsulation efficiency results were found for the produced powders, as showed in Table 8, indicating that the largest amount of betalains was located inside the core of the capsules. It has already been related that there is a high betalain-polymer interaction induced by electrostatic interactions or hydrogen bonding, which should

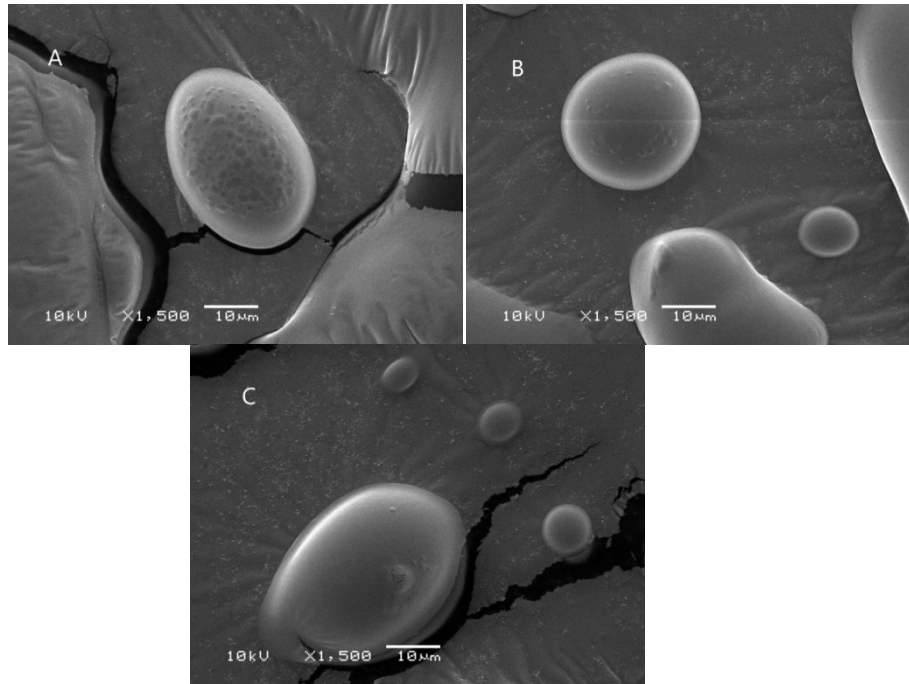


cause a good adhesion of the bioactive composite to some encapsulating materials (KANNER; HAREL; GRANIT, 2001; VERGARA et al., 2014). Vargas-Campos *et al.*(2018) obtained similar EE percentages (93.98%) using commercial starch to encapsulate betalains of pitaya fruit from species *Stenocereus pruinosus*, but they reached better results (96.7-97.6%) with modified starches as wall materials.

The sample with mucilage presence had a higher efficiency of encapsulation in relation to the control. This is explained by the molecular weight of the mucilage. Different molecular weights of compounds affect this characteristic of the capsules. Studies have affirmed that cactus mucilages are heteropolysaccharides with high molecular weights and it results in an improvement in efficiency. An excessive amount of core material, however, could even decrease the encapsulation potential of the agent (HANDAYANI et al., 2018; OTÁLORA et al., 2015). The use of gelatin residue did not affect this parameter.

#### *Particle Morphology and Size*

Figure 11 shows that the microcapsules had a round shape, ranging from spherical to oval, with smooth surfaces and no surface cracks. This format is typical in microencapsulation by the spray drying method (BAZARIA; KUMAR, 2017; LEE; WU; SIOW, 2013). Bazaria e Kumar (2017) reported that a much round shape is due to a higher solid content, which can explain the format of the powder that was reached with the combination of maltodextrin and mucilage as encapsulating agents (B). Also, the integrity of the microcapsules observed in the images increases the stability of the microcapsules, due to low oxygen permeability (DELIA et al., 2019).



*Figure 11. Scanning electron micrographs of the microcapsules.*

A = MC; B = MU; C = MG

MC: microcapsule with 10% maltodextrin; MU: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage; MG: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% gelatin.

The particle size of samples ranged from 8 to 15  $\mu\text{m}$  in diameter (Table 8), which allows them to be classified as microparticles (FANG; BHANDARI, 2010). Obón *et al.* (2009) evaluated that the inlet air temperature of the drying equipment influence the particle size of samples, and that low temperatures around 120°C, resulted in larger size capsules of size around 8-12  $\mu\text{m}$ . Moreover, it has been reported that maltodextrin may allow air expansion inside the particle, causing an increase in its diameter and that the molecular size of wall material also is related to the size of the capsule, and can also increase it (OTÁLORA *et al.*, 2015). Therefore, the control sample had the lowest size, and the others had higher diameters probably due to the use of mucilage or gelatin with maltodextrin. Lee *et al.* (2013) found particle sizes of dragon fruits powders ranging between 3 and 7  $\mu\text{m}$ .

#### *Glass Transition Temperature*

Compounds like sugars in spray-dried food powders are amorphous glassy components. They are thermodynamically unstable and can crystallize, becoming sticky

(TZE et al., 2012). Therefore, the glass transition temperature is an important parameter to determine the storage conditions of the powders. Under the process conditions studied, the encapsulated had great glass transition temperatures (Table 8), and the values were similar for all samples.

Generally, high drying temperatures lead to higher values of  $T_g$  due to the moisture evaporation being more efficient. Researchers who produced pitaya fruit powders using maltodextrin and different inlet air temperatures found values ranging from 59 to 74°C (TZE et al., 2012). In this work, inlet air temperature of 130°C was sufficient to eliminate the moisture of the pitaya extracts, as previously described, leading to high glass transition temperatures.

### **3.2 Analysis of Storage Stability**

The stability of powders stored at 40°C during 50 days presented an exponential behavior, as shown in the Figure 12. A significant degradation of the pigment under the evaluated conditions can be observed, which was different for the three microcapsules, indicating a strong influence of the wall materials used in the betalains retention over storage time. The addition of a polysaccharide of high molecular weight as pitaya peel mucilage decreased powder moisture and consequently ensured its stability for a longer time, as reported by Otálora *et al.* (2015). Maltodextrin is a molecule of low mass and shorter chains, being more hygroscopic, so its use alone entails higher values of moisture, decreasing pigment retention (CAI; CORKE, 2000).

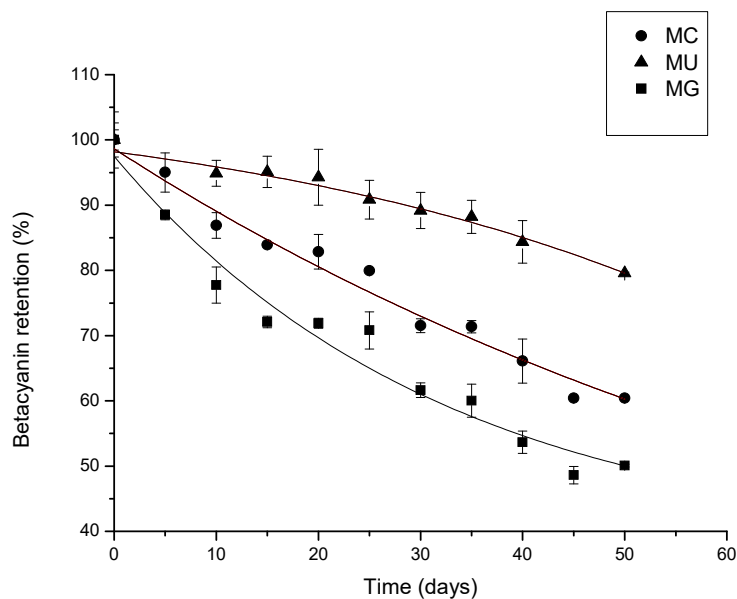


Figure 12. Betacyanin retention (%) of the three microcapsules storage at 40°C for 50 days.

MC: microcapsule with 10% maltodextrin; MU: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage; MG: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% gelatin.

Functional properties and molecular structure of gelatin are affected by technological processes. Studies demonstrated that protein degradation occurred in gelatin submitted to spray drying, increasing the number of small peptides. This may lead to higher aggregation between proteins, and also higher moisture absorption, or even cause permeability and allow oxygen entrance, accelerating color degradation (KANWATE; BALLARI; KUDRE, 2019; SHAARUDDIN et al., 2017; VERGARA et al., 2014).

Storage stability of betalain capsules from pitaya with commercial and modified starches was also evaluated at 40°C during 39 days, and the authors had lower betacyanin losses (22-23%) than the powder with the only maltodextrin of this study (Fig. 12). The researchers still found that the use of commercial starch resulted in the higher pigment loss (65%), which was higher than the value found for the microcapsule with gelatin in this work (Fig. 12). The combination of mucilage with maltodextrin overcame the modified starches used by the same authors since it corresponded to betacyanin retention around 85% (VARGAS-CAMPOS et al., 2018). Delia et al. (2019) obtained high results of pigment retention (85-99%) in betalain powders from cactus

fruit pulps with mucilage as wall material after 3 months storage in vacuum conditions at room temperature.

In the study of Lee *et al.* (2013), who submitted the betalain capsules to different relative moisture, the physical appearance of the powders changed at 55% RH, with structural deformation and formation of agglomerates. The same happened in this work; there were changes in the color and format of the particles, which became sticky. The water activity of all samples remained at values of 0.55 to 0.65 during the storage period, in keeping with the ambient moisture conditions, and indicating that the use of different encapsulating materials did not affect this parameter.

Values of coefficient of determination (Table 10) confirmed the good exponential fit to the curves and that degradations followed first order kinetics. Shaaruddin *et al.* (2017) reported that for powders with maltodextrin the kinetics of degradation had the same behavior, but the value of rate constants ( $5.1-5.3 \times 10^{-3}$ ) were lower, probably due to a higher concentration of the material and to the lower moisture of samples. The results found for  $k_t$  also confirmed that the stability of encapsulated betalains during storage depends on the type of encapsulating material and probably on the temperature and related moisture, such as reported by Otálora *et al.* (2015).

Table 10. Degradation rate constant ( $k_t$ ), the coefficient of determination ( $R^2$ ) and half-life time ( $t_{1/2}$ ) for betalain microcapsules.

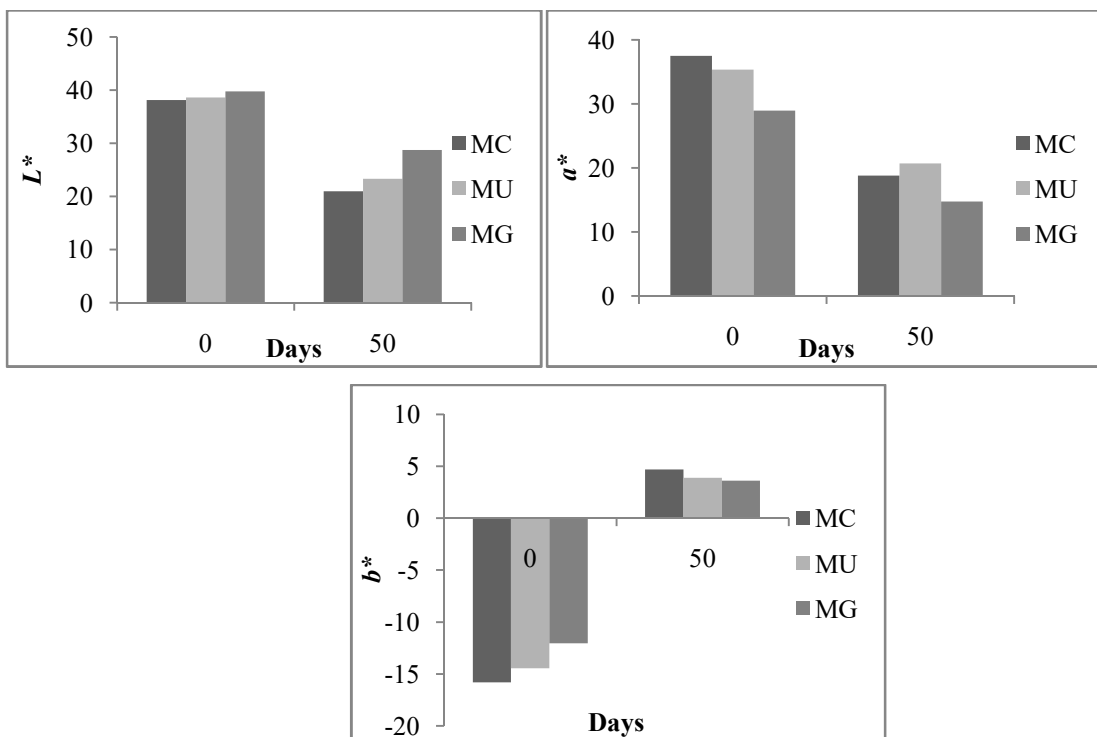
Parameter	MC	MU	MG
Rate constants $k_t \times 10^{-3}$ ( $\text{min}^{-1}$ )	10.23	4.36	13.62
$R^2$	0.979	0.958	0.962
$t_{1/2}$ (days)	67	161	47

MC: microcapsule with 10% maltodextrin; MU: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage; MG: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% gelatin.

Rate constants were used to estimate half-life time of the capsules, the time that betacyanins degradation reaches 50% of its initial value. Sample with mucilage had a half-time significantly higher than the others, equivalent to more than 5 months under these conditions, and it was higher than values found by Otálora *et al.* (2015), evidencing great potential of mucilage as encapsulating agent together with other materials such as maltodextrin.

A large change in color parameters of powders after 50 days of storage at 40°C and 55-60% RH may be perceived in Figure 13. Decreasing in  $L^*$  values indicated a

darkening of samples. The decrease of  $a^*$  coordinate (redness) corroborates with the loss in pigmentation due to betacyanins degradation, as previously discussed. The increase in  $b^*$  parameter (yellowness) indicates a lower tendency to purple tonality. The behavior of the three microparticles, in this case, was very similar because the color measurement was performed on the surface of the capsules, this analysis being indicative of the perception of change in color through the human eye. Lee *et al.*(2013) also observed physical and structural changes in betalain capsules stored at high relative moisture, above 50%, due to water migration to the environment into the powder samples.



.Figure 13. Color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) at initial and final day of storage

MC: microcapsule with 10% maltodextrin; MU: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage; MG: microcapsule with 10% maltodextrin and 1% gelatin.

### 3.3 Application of the microencapsulated powders in yogurts

Betalain microcapsules produced from red pitaya pulp extract that showed the highest stability and the pure liquid extract (control) were applied in a food model system in order to evaluate its behavior in the shelf life of yogurt. The loss of

pigmentation in this case also followed first order kinetics with adequate exponential fits ( $0.94 < R^2 < 0.97$ ) (Fig.14).

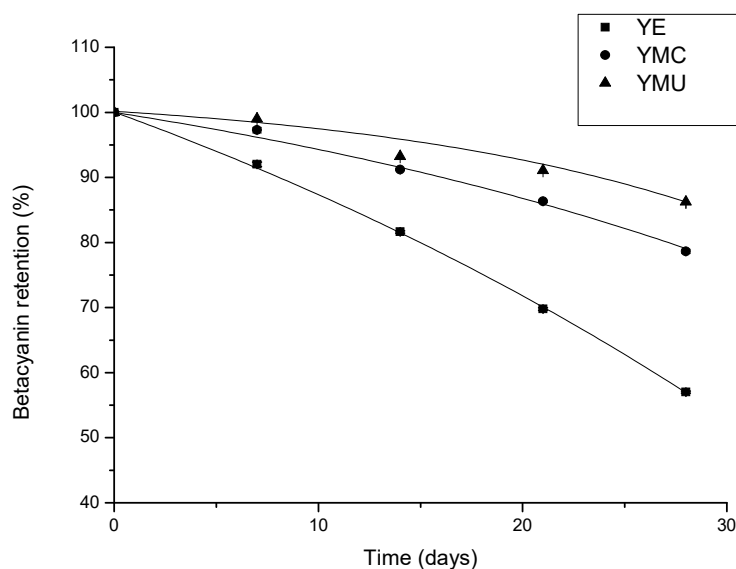


Figure 14. Betacyanin retention (%) of yogurts storage at 5°C for 28 days.

YE: yogurt with betalain extract;

YMC: yogurt with betalainmicrocapsule with 10% maltodextrin;

YMU: yogurt with betalains microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage

As expected, the higher betacyanins degradation was in yogurt added of liquid extract (YE), which reached less than 60% of retention in 28 days. The microcapsules obtained with 10% maltodextrin (YMC) and microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage (YMU) reached higher retention (>80%) corroborating with stability results. Gengatharan *et al.* (2017a) compared the degradation pigment obtained from pitaya and red beet in yogurt and observed higher stability of pitaya extract pigment.

A significant increase in lightness ( $L^*$ ) of stored yogurts was observed, indicating a higher loss of color intensity of samples from day 14 (Table 11). But the values were still lower than those found by Obón *et al.* (2009) (70-72), which produced a colorant from *Opuntia stricta* fruits with glucose and also applied in the same product. These authors evaluated by color parameters and had close Hue angles ( $335^\circ$ ), as well as an increase of them over time, meaning a deviation from purple to red color.

Table 11. Color stability of yogurts storage at 5°C for 28 days.

Time (days)	YE			YMC			YMU		
	<i>L</i> *	Chroma ( <i>C<sub>ab</sub></i> *)	Hue angle ( <i>h<sub>ab</sub></i> )	<i>L</i> *	Chroma ( <i>C<sub>ab</sub></i> *)	Hue angle ( <i>h<sub>ab</sub></i> )	<i>L</i> *	Chroma ( <i>C<sub>ab</sub></i> *)	Hue angle ( <i>h<sub>ab</sub></i> )
0	46.04 ± 1.59 <sup>bB</sup>	11.85 ± 0.39 <sup>abE</sup>	346.01 ± 0.14 <sup>cF</sup>	45.74 ± 0.21 <sup>cB</sup>	12.55 ± 0.04 <sup>bD</sup>	344.77 ± 0.39 <sup>cG</sup>	49.08 ± 0.20 <sup>dA</sup>	14.06 ± 0.14 <sup>aC</sup>	343.94 ± 0.42 <sup>cG</sup>
7	48.87 ± 0.74 <sup>bA</sup>	10.81 ± 0.04 <sup>cE</sup>	352.22 ± 0.16 <sup>bF</sup>	46.74 ± 0.07 <sup>cB</sup>	11.48 ± 0.10 <sup>cD</sup>	349.66 ± 0.15 <sup>bG</sup>	48.66 ± 0.43 <sup>dA</sup>	11.90 ± 0.16 <sup>dC</sup>	349.54 ± 0.19 <sup>bG</sup>
14	64.25 ± 3.63 <sup>aA</sup>	12.19 ± 0.56 <sup>aC</sup>	358.40 ± 0.21 <sup>aD</sup>	63.88 ± 1.44 <sup>bA</sup>	13.57 ± 0.29 <sup>aB</sup>	358.03 ± 0.19 <sup>aD</sup>	60.48 ± 0.54 <sup>cA</sup>	13.14 ± 0.13 <sup>bB</sup>	356.22 ± 0.05 <sup>aE</sup>
21	66.56 ± 0.06 <sup>aA</sup>	11.19 ± 0.05 <sup>bcC</sup>	3.41 ± 0.95 <sup>cE</sup>	66.20 ± 0.60 <sup>aA</sup>	12.44 ± 0.11 <sup>bB</sup>	6.09 ± 0.05 <sup>cD</sup>	66.51 ± 0.01 <sup>bA</sup>	12.67 ± 0.12 <sup>cB</sup>	4.41 ± 0.55 <sup>cE</sup>
28	67.56 ± 0.23 <sup>aA</sup>	11.01 ± 0.04 <sup>cC</sup>	14.65 ± 0.02 <sup>dD</sup>	68.21 ± 0.71 <sup>aA</sup>	12.46 ± 0.07 <sup>bB</sup>	8.16 ± 0.06 <sup>dE</sup>	67.87 ± 0.01 <sup>aA</sup>	12.50 ± 0.02 <sup>cB</sup>	8.30 ± 0.03 <sup>dE</sup>

YE: yogurt with betalain extract;

YMC: yogurt with betalain microcapsule with 10% maltodextrin;

YMU: yogurt with betalain microcapsule with 10% maltodextrin and 1% mucilage

Values with different letters (a-e) in the same column are significantly different (P < 0.05)

(Tukey test).

Values with different letters (A-G) for same parameters in the same row are significantly

different (P < 0.05) (Tukey test).

The best pigmentation potential was obtained in samples with lower  $h_{ab}^{\circ}$ , and the yogurt with pitaya extract had the lowest angle at the last day and a weak pink final appearance, as in work of Vargas-Campos *et al.*(2018), where the refined extract added to the yogurt caused a final hue angle of 40.73°. Chroma values did not show large variations, just had lower results for the sample YE, suggesting a weaker color tonality for it. The parameters and color retention obtained indicate that de developed microcapsules can be used as natural additives to color foods since it maintains much of its coloring power over their useful life.

#### 4. Conclusion

The pigments extracted from the red pitaya pulp in encapsulated form were shown as potential natural dyes with characteristics suitable for application in foods. The use of mucilage extracted from fruit peel combined with maltodextrin as encapsulating agents improved some properties and stability of the powders under



accelerated storage conditions. The gelatin residue, however, did not prove to be a suitable material for use in encapsulation processes by spray drying method. The application of the capsules in a food matrix as yogurt confirmed the effectiveness of the technique and of the materials used to decrease color degradation when exposed to specific conditions.

## 5. References

- AOAC. (Association of Official Analytical Chemists) (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists International, 18th ed. Gathersburg, MD U.S.A Official methods, 2005.08.
- AUGUSTIN, M. A.; HEMAR, Y. Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. **Chem. Soc. Rev.**, v. 38, n. 4, p. 902–912, 2009.
- AZEREDO, H. M. C. Betalains: Properties, sources, applications, and stability - A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 12, p. 2365–2376, 2009.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, v. 14, p. 21–27, 2016.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of dextrose equivalency of maltodextrin together with Arabic gum on properties of encapsulated beetroot juice. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 1, p. 156–163, 2017.
- CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. v. 65, n. 3600, p. 1248–1252, 2000.
- CASTELLAR, R. et al. Color properties and stability of betacyanins from Opuntia fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 9, p. 2772–2776, 2003.
- CHOO, K. Y. et al. Studies on the storage stability of fermented red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) drink. **Food Science and Biotechnology**, p. 1–7, 2018.
- DAVIDOV-PARDO, G.; AROZARENA, I.; MARÍN-ARROYO, M. R. Optimization of a Wall Material Formulation to Microencapsulate a Grape Seed Extract Using a Mixture Design of Experiments. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 4, p. 941–951, 2013.
- DELIA, S. C. et al. Spray drying microencapsulation of betalain rich extracts from *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* fruits using cactus mucilage. **Food Chemistry**, v. 272, n. April 2018, p. 715–722, 2019.
- DICK, M. et al. Valorization of *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. cladodes to obtain a mucilage with hydrocolloid features: Physicochemical and functional performance. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 123, p. 900–909, 2019.
- DOWNHAM, A.; COLLINS, P. Colouring our foods in the last and next millennium. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 35, n. 1, p. 5–22, 2000.
- ESPINO-DÍAZ, M. et al. Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). **Journal of Food Science**, v. 75, n. 6, p. 347–352, 2010.
- FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols - A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, n. 10, p. 510–523, 2010.
- FATHORDOOBADY, F. et al. Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from *Hylocereus polyrhizus* flesh and peel by

supercritical fluid extraction and solvent extraction. **Food Chemistry**, v. 202, p. 70–80, 2016.

GARCÍA-LUCAS, K. A. et al. Physical properties of spray dried *Stenocereus griseus* pitaya juice powder. **Journal of Food Process Engineering**, n. August, p. 1–9, 2016.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W.-S. The effect of pH treatment and refrigerated storage on natural colourant preparations (betacyanins) from red pitahaya and their potential application in yoghurt. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 437–445, 2017.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. Stability of betacyanin from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and its potential application as a natural colourant in milk. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 427–434, 2016.

GONÇALVES, L. C. P. et al. Effect of dielectric microwave heating on the color and antiradical capacity of betanin. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 1, p. 49–55, 2013.

GÜNEŞER, O. Pigment and Colour Stability of Beetroot Betalains in Cow Milk During Thermal Running Head : Thermal Stability of Beetroot Betalains in Milk Corresponding author : Dr . ONUR GÜNE Ş ER. **FOOD CHEMISTRY**, n. September, 2015.

HANDAYANI, M. N. et al. Microencapsulation of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peel Extract Using Maltodextrin. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 288, n. 1, p. 1–8, 2018.

IAHNKE, A. O. E S. et al. Residues of minimally processed carrot and gelatin capsules: Potential materials for packaging films. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 1071–1078, 2015.

JANISZEWSKA-TURAK, E. et al. The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. **Food Chemistry**, v. 236, p. 134–141, 2017.

KANNER, J.; HAREL, S.; GRANIT, R. Betalains - A new class of dietary cationized antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 11, p. 5178–5185, 2001.

KANWATE, B. W.; BALLARI, R. V.; KUDRE, T. G. Influence of spray-drying, freeze-drying and vacuum-drying on physicochemical and functional properties of gelatin from *Labeo rohita* swim bladder. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, p. 135–141, 2019.

LEE, K. H.; WU, T. Y.; SIOW, L. F. Spray drying of red (*Hylocereus polyrhizus*) and white (*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices: Physicochemical and antioxidant properties of the powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 11, p. 2391–2399, 2013.

LEONG, H. Y. et al. Investigation of betacyanins stability from peel and flesh of red-purple pitaya with food additives supplementation and pH treatments. **Lwt**, v. 98, n. September, p. 546–558, 2018.

MÉNDEZ-LAGUNAS, L. et al. Physical properties of spray dried pitaya. **Researchgate.Net**, n. February 2015, p. 2–4, 2013.

OBÓN, J. M. et al. Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, p. 471–479, 2009.

OTÁLORA, M. C. et al. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, v. 187, p. 174–181, 2015.

PEDREÑO, M. A.; ESCRIBANO, J. Correlation between antiradical activity and

stability of betanine from *Beta vulgaris* L roots under different pH, temperature and light conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 7, p. 627–631, 2001.

SHAARUDDIN, S. et al. Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 129–134, 2017.

SINTHUSAMRAN, S.; BENJAKUL, S.; KISHIMURA, H. Molecular characteristics and properties of gelatin from skin of seabass with different sizes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 73, n. 1, p. 146–153, 2015.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. **Food Chemistry**, v. 77, n. 1, p. 101–106, 2002a.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. **J Agric Food Chem**, v. 50, n. 8, p. 2302–2307, 2002b.

STOLL, L. et al. Microencapsulation of Anthocyanins with Different Wall Materials and Its Application in Active Biodegradable Films. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 1, p. 172–181, 2016.

TANG, C. S.; NORZIAH, M. H. Stability of betacyanin pigments from red purple pitaya fruit (*hylocereus polyrhizus*): influence of pH, temperature, metal ions and ascorbic acid. **Indo. J. Chem**, v. 7, n. 3, p. 327–331, 2007.

THANATCHA, R.; PRANEE, A. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. **Journal of Arid Environments J**, v. 68, p. 534–545, 2007.

TSAI, P. J. et al. Thermal and pH stability of betacyanin pigment of djulis (*Chenopodium formosanum*) in Taiwan and their relation to antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 2, p. 1020–1025, 2010.

TZE, N. L. et al. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. **Food Science and Biotechnology**, v. 21, n. 3, p. 675–682, 2012.

VARGAS-CAMPOS, L. et al. Encapsulation and pigmenting potential of betalains of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2436–2445, 2018.

VERGARA, C. et al. Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. **Food Chemistry**, v. 157, p. 246–251, 2014.

## 8. DISCUSSÃO GERAL

Mudanças nos hábitos dos consumidores, que atualmente tem buscado alternativas para uma alimentação mais nutritiva e com menor uso de aditivos químicos, aliada a grande quantidade de rejeitos desperdiçados pelas indústrias ao redor do mundo motivaram a realização deste trabalho. Frutos como a pitaya, devido às potenciais características que apresentam, devem ser melhor explorados pelas empresas fabricantes de ingredientes alimentícios.

A pitaya vermelha é fonte de compostos como as betalaínas, as quais já são utilizadas comercialmente na forma de corantes naturais extraídas de fontes como a beterraba. No entanto, sabe-se que esse tipo de corante apresenta limitações como, por exemplo, o sabor e odor terráceo conferidos aos produtos em que são aplicados. Sendo assim, é de interesse que se tenha fontes vegetais alternativas disponíveis para obtenção desses pigmentos. Ao mesmo tempo, as betalaínas, como todo pigmento natural, são suscetíveis a deterioração por fatores ambientais e também pelos componentes da matriz alimentícia onde possam ser aplicadas.

Dessa forma, estudou-se a técnica de encapsulamento desses compostos, para a obtenção de um corante em pó de possível aplicação em diferentes produtos. O método de encapsulamento escolhido foi por *spray drying*, por ser uma tecnologia simples, de boa relação custo/benefício e de fácil aplicação dentro da indústria de alimentos. Para a secagem de pigmentos naturais por *spray drying*, alguns materiais de parede para proteção de compostos já foram testados, dentre eles o mais comumente utilizado é a maltodextrina.

Dentro desse contexto, optou-se por testar neste trabalho primeiramente a maltodextrina isolada e posteriormente a combinação com outros materiais. A concentração de 10% do agente encapsulante foi selecionada devido ao bom rendimento obtido (relação custo/benefício) em comparação como uso de concentrações mais elevadas.

O resíduo de gelatina foi selecionado para ser combinado com a maltodextrina, devido a sua composição ser a base de proteínas e ser um resíduo gerado da fabricação de cápsulas pela indústria farmacêutica. Observou-se que, mesmo em pequenas quantidades, o aditivo proporcionou uma maior aderência das cápsulas às paredes do equipamento utilizado na secagem, devido às propriedades que a gelatina possui, o que proporcionou um menor rendimento do pó.

Optou-se então por testar a mucilagem, presente na casca da pitaya. A mucilagem, um hidrocoloide de alta massa molecular, pode ser extraída da casca desse fruto, a qual normalmente é descartada pela indústria. Seu processo de extração é simples, sendo viável a sua aplicação, além da mesma ter a característica de aumentar a viscosidade quando aplicada em sistemas aquosos; portanto poder ser utilizada em baixo percentual juntamente com a maltodextrina. O rendimento obtido a partir dessa mistura foi similar ao da amostra produzida somente com maltodextrina, já as propriedades do pó tais como conteúdo de umidade, teor de betalaínas e eficiência de encapsulação melhoraram como uso da mucilagem. Além disso, houve um efeito significativo no aprimoramento da estabilidade nas condições estudadas, mostrando-se um agente de encapsulação eficiente para o pigmento.

As duas microcápsulas de betalaínas que tiveram as melhores características foram aplicadas em iogurte, a fim de simular as condições de um sistema alimentício usualmente adicionado de corantes. A retenção de cor no iogurte acrescido da cápsula com maltodextrina e mucilagem atingiu valores acima de 80% em 28 dias, tempo aproximado de vida útil desse produto. Esse resultado confirma que a encapsulação foi eficiente na proteção do composto de interesse. Já o uso da microcápsula desenvolvida a partir da maltodextrina sozinha resultou em uma degradação de cor um pouco maior nesse período de tempo, o que sugere que a combinação dos dois materiais foi mais eficaz no processo de encapsulamento.

O resíduo oriundo do processamento da polpa desse fruto é provido de substâncias com propriedades nutricionais, tecnológicas e sensoriais. E estudos mostram que a casca da pitaya contém altas quantidades de fibras, pectina, compostos fenólicos, além das betalaínas (JAMILAH et al., 2011; WU et al., 2006). Assim, ela pode ser aproveitada pela indústria para auxiliar no aprimoramento e enriquecimento de produtos alimentícios.

Para a obtenção de um ingrediente funcional sem alto custo de processamento, essa casca de pitaya foi seca, moída e peneirada, para obtenção de uma farinha de baixa granulometria. Foi escolhida uma temperatura de secagem de 60°C a fim de causar a mínima degradação dos compostos presentes no resíduo. Essa farinha foi caracterizada em relação a sua composição centesimal e propriedades tecnológicas, e também foi determinada sua retenção de cor e atividade antioxidante. Seu elevado teor de fibras totais permite que ela seja denominada como uma fibra dietética, e a proporção elevada de fibra solúvel, assim como as propriedades funcionais que apresenta como alta

solubilidade e capacidade de retenção de água, possibilitam sua aplicação como substituto de gordura em alimentos. E ela destacou-se também pela sua capacidade antioxidante, devido aos compostos fenólicos presentes na casca.

Através da aplicação dessa fibra em sorvetes foi possível observar que apesar da redução de gordura e valor calórico do produto lácteo altamente consumido como sobremesa obteve-se redução da aceitação sensorial do sorvete em comparação com o produto padrão (com alto teor de lipídeos), devido à gordura exercer um efeito positivo no sabor desse alimento. Características de cor e derretimento, no entanto, não foram afetadas, e a textura, aeração e viscosidade foram aprimoradas. O ingrediente desenvolvido mostrou-se assim com um grande potencial de substituição de gordura, podendo ser aplicado em diversas áreas pela indústria alimentícia.

O trabalho, de modo geral, possibilitou avaliar o uso potencial de diferentes partes da pitaya vermelha (polpa e casca) para produção de novos ingredientes com apelo funcional e sustentável para a indústria de alimentos.

## 9. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que a espécie de pitaya estudada se mostrou como ótima fonte de ingredientes funcionais para a indústria de alimentos, podendo ser utilizada de forma integral para aprimorar características físico-químicas, tecnológicas e organolépticas de diversos tipos de produtos. As microcápsulas desenvolvidas a partir da polpa utilizando maltodextrina em combinação com outros materiais como a mucilagem, extraída da casca do mesmo fruto, e o resíduo de gelatina da produção de fármacos, apresentaram características adequadas para serem utilizadas como corante natural. No entanto, a estabilidade dos pós ao longo de condições aceleradas de armazenamento mostrou-se diferente, destacando-se a cápsula com a presença de mucilagem, a qual mostrou também um ótimo comportamento quando adicionada em iogurtes. A fibra obtida a partir da casca da pitaya, outro subproduto da indústria de derivados da polpa, foi caracterizada com propriedades tecnológicas e composição centesimal apropriadas para ser aplicada como substituto de gordura em produtos como o sorvete. O produto desenvolvido com a adição desse substituto apresentou parâmetros reológicos adequados em relação a textura, cor, *overrun* e derretimento de sorvetes, além de características sensoriais aceitáveis, mostrando o potencial dessa fibra em melhorar o valor nutricional, diminuir o valor calórico e lipídico e manter as propriedades físicas de produtos alimentícios.

## 10. REFERÊNCIAS

- ABREU, W. C. DE et al. Características físico-químicas e atividade antioxidante total de pitaias vermelha e branca. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 4, p. 656–661, 2012.
- AJILA, C. M. et al. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 1, p. 219–224, 2010.
- AKBARI, M. et al. The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. **International Dairy Journal**, v. 57, p. 52–55, 2016.
- AMARAL, T. N. et al. Effects of salts and sucrose on the rheological behavior, thermal stability, and molecular structure of the *Pereskia aculeata* Miller mucilage. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 131, p. 218–229, 2019.
- AOAC. (Association of Official Analytical Chemists) (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists International, 18th ed. Gathersburg, MD U.S.A Official methods, 2005.08.
- AUGUSTIN, M. A.; HEMAR, Y. Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. **Chem. Soc. Rev.**, v. 38, n. 4, p. 902–912, 2009.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentação e Nutrição, Araraquara**, v. 16, n. 1, p. 89–97, 2005.
- AZEREDO, H. M. C. Betalains: Properties, sources, applications, and stability - A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 12, p. 2365–2376, 2009.
- BAHRAMPARVAR, M.; TEHRANI, M. M.; RAZAVI, S. M. A. Effects of a novel stabilizer blend and presence of  $\kappa$ -carrageenan on some properties of vanilla ice cream during storage. **Food Bioscience**, v. 3, p. 10–18, 2013.
- BAKAR, J. et al. Spray-Drying Optimization for Red Pitaya Peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 5, p. 1332–1342, 2013.
- BARANAUSKAITE, J.; KOPUSTINSKIENE, D. M.; BERNATONIENE, J. Impact of Gelatin Supplemented with Gum Arabic, Tween 20, and  $\beta$ -Cyclodextrin on the Microencapsulation of Turkish Oregano Extract. **Molecules**, v. 24, n. 1, p. 176, 2019.
- BASTIEN, M. et al. Overview of epidemiology and contribution of obesity to cardiovascular disease. **Progress in Cardiovascular Diseases**, v. 56, n. 4, p. 369–381, 2014.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, v. 14, p. 21–27, 2016.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of dextrose equivalency of maltodextrin together with Arabic gum on properties of encapsulated beetroot juice. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 1, p. 156–163, 2017.
- BUTTRISS, J. YOGURT/Dietary Importance. **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)**, p. 6264–6266, 2003.
- CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. v. 65, n. 3600, p. 1248–1252, 2000.
- CAI, Y. Z.; SUN, M.; CORKE, H. Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 9, p. 370–376, 2005.
- CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango



powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420–428, 2005.

CASTELLAR, R. et al. Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 9, p. 2772–2776, 2003.

CASTRO, J. C. et al. Características físico-químicas, compostos bioativos, atividade antioxidante e enzimática de frutos da pitaya (*Hylocereus undatus*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 10, n. 1, p. 2081–2095, 2016.

CELLI, G. B.; BROOKS, M. S. L. Impact of extraction and processing conditions on betalains and comparison of properties with anthocyanins — A current review. **Food Research International**, v. 100, p. 501–509, 2017.

CHEN, X. et al. Hydrochar production from watermelon peel by hydrothermal carbonization. **Bioresource Technology**, v. 241, p. 236–243, 2017.

CHIA, S. L.; CHONG, G. H. Effect of rotation speed and steam pressure on physico-chemical properties of drum dried pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 1, p. 372–376, 2015.

CHOO, K. Y. et al. Studies on the storage stability of fermented red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) drink. **Food Science and Biotechnology**, p. 1–7, 2018.

Codex Alimentarius Commission (2004). ALINORM 05 / 28 / 27 - **Report of the Twenty-Second Session of the Codex Committee on Processed Fruits and Vegetables**. Available at: [http://www.codexalimentarius.net/download/report/624/al28\\_27e.pdf](http://www.codexalimentarius.net/download/report/624/al28_27e.pdf) (accessed 24 / 06 / 2006). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

CRIZEL, T. DE M. et al. Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 9–14, 2013.

CRIZEL, T. DE M. et al. Orange fiber as a novel fat replacer in lemon ice cream. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 34, n. 2, p. 332–340, 2014.

CRIZEL, T. DE M. et al. Evaluation of bioactive compounds, chemical and technological properties of fruits byproducts powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 11, p. 4067–4075, 2016.

CUNHA, L. C. M. et al. Effect of microencapsulated extract of pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel on color, texture and oxidative stability of refrigerated ground pork patties submitted to high pressure processing. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 49, n. August, p. 136–145, 2018.

DAVIDOV-PARDO, G.; AROZARENA, I.; MARÍN-ARROYO, M. R. Optimization of a Wall Material Formulation to Microencapsulate a Grape Seed Extract Using a Mixture Design of Experiments. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 4, p. 941–951, 2013.

DE ANDRADE, R. A.; MARTINS, A. B. G.; SILVA, M. T. H. Development of seedlings of red pitaya (*Hylocereus undatus* Haw) in different substrate volumes. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 30, n. 5 SUPPL, p. 697–700, 2008.

DE MORAES CRIZEL, T. et al. Biodegradable Films Based on Gelatin and Papaya Peel Microparticles with Antioxidant Properties. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 3, p. 536–550, 2018.

DE VOS, P. et al. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**, v. 20, p. 292–302, 2010.

DELGADO-VARGAS, F. et al. **Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains — characteristics, biosynthesis, processing, and stability**. [s.l: s.n.]. v. 40

DELIA, S. C. et al. Spray drying microencapsulation of betalain rich extracts from *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* fruits using cactus mucilage. **Food Chemistry**, v. 272, n. April 2018, p. 715–722, 2019.

DESAI, K. G. H.; JIN PARK, H. **Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients**. [s.l: s.n.]. v. 23

DICK, M. et al. Valorization of *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. cladodes to obtain a mucilage with hydrocolloid features: Physicochemical and functional performance. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 123, p. 900–909, 2019.

DILLE, M. J.; HATTREM, M. N.; DRAGET, K. I. Bioactively filled gelatin gels; challenges and opportunities. **Food Hydrocolloids**, p. 1–13, 2016.

DOGAN, M. et al. Steady, Dynamic, Creep, and Recovery Analysis of Ice Cream Mixes Added with Different Concentrations of Xanthan Gum. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 6, p. 1420–1433, 2013.

DOUGLAS GOFF, H.; HARTEL, R. W. **Ice cream**. [s.l: s.n.].

DOWNHAM, A.; COLLINS, P. Colouring our foods in the last and next millennium. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 35, n. 1, p. 5–22, 2000.

ESPINO-DÍAZ, M. et al. Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). **Journal of Food Science**, v. 75, n. 6, p. 347–352, 2010.

ESPÍRITO-SANTO, A. P. et al. Rheology, spontaneous whey separation, microstructure and sensorial characteristics of probiotic yoghurts enriched with passion fruit fiber. **Food Research International**, v. 50, n. 1, p. 224–231, 2013.

ETXABIDE, A. et al. Development of active gelatin films by means of valorisation of food processing waste: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 192–198, 2017.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols - A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, n. 10, p. 510–523, 2010.

FARIDAH, A.; HOLINESTI, R.; SYUKRI, D. Betalains from Red Pitaya Peel (*Hylocereus polyrhizus*): Extraction, Spectrophotometric and HPLC-DAD identification, bioactivity and toxicity screening. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 14, n. 12, p. 976–982, 2015.

FATHORDOOBADY, F. et al. Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from *Hylocereus polyrhizus* flesh and peel by supercritical fluid extraction and solvent extraction. **Food Chemistry**, v. 202, p. 70–80, 2016.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. et al. Storage stability of a high dietary fibre powder from orange by-products. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, n. 4, p. 748–756, 2009.

GALANAKIS, C. M. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. **Trends in Food Science and Technology**, v. 26, n. 2, p. 68–87, 2012.

GARCÍA-LUCAS, K. A. et al. Physical properties of spray dried *Stenocereus griseus* pitaya juice powder. **Journal of Food Process Engineering**, n. August, p. 1–9, 2016.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W.-S. The effect of pH treatment and refrigerated storage on natural colourant preparations (betacyanins) from red pitahaya and their potential application in yoghurt. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 437–445, 2017.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. Stability of betacyanin from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and its potential application as a natural colourant in milk. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 427–434, 2016.

GIBBS, B. F. et al. Encapsulation in the food industry: a review. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 50, n. 3, p. 213–224, 1999.

GONÇALVES, L. C. P. et al. Effect of dielectric microwave heating on the color and

antiradical capacity of betanin. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 1, p. 49–55, 2013.

GÓRAL, M. et al. Impact of stabilizers on the freezing process, and physicochemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream. **Lwt**, v. 92, n. March, p. 516–522, 2018.

GÜNEŞER, O. Pigment and Colour Stability of Beetroot Betalains in Cow Milk During Thermal Running Head : Thermal Stability of Beetroot Betalains in Milk Corresponding author : Dr . ONUR GÜNE Ş ER. **FOOD CHEMISTRY**, n. September, 2015.

GUO, Y. et al. Nano-bacterial cellulose/soy protein isolate complex gel as fat substitutes in ice cream model. **Carbohydrate Polymers**, v. 198, n. March, p. 620–630, 2018.

GURAK, P. D. et al. Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: A comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. **Food Research International**, v. 62, p. 786–792, 2014.

HANDAYANI, M. N. et al. Microencapsulation of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peel Extract Using Maltodextrin. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 288, n. 1, p. 1–8, 2018.

HERBACH, K. M. et al. Isotope ratio mass spectrometrical analysis of betanin and isobetanin isolates for authenticity evaluation of purple pitaya-based products. **Food Chemistry**, v. 99, n. 1, p. 204–209, 2006.

IAHNKE, A. O. E. S. et al. Antioxidant films based on gelatin capsules and minimally processed beet root (*Beta vulgaris* L. var. *Conditiva*) residues. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 10, p. 1–10, 2016.

IAHNKE, A. O. E. S. et al. Residues of minimally processed carrot and gelatin capsules: Potential materials for packaging films. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 1071–1078, 2015.

JACKMAN, R. L.; SMITH, J. L. Anthocyanins and betalains BT - Natural Food Colorants. p. 244–309, 1996.

JAMILAH, B. et al. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **International Food Research Journal**, v. 18, n. 1, p. 279–286, 2011.

JANISZEWSKA-TURAK, E. et al. The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. **Food Chemistry**, v. 236, p. 134–141, 2017.

JAVIDI, F. et al. The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 625–633, 2016.

KANNER, J.; HAREL, S.; GRANIT, R. Betalains - A new class of dietary cationized antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 11, p. 5178–5185, 2001.

KANWATE, B. W.; BALLARI, R. V.; KUDRE, T. G. Influence of spray-drying, freeze-drying and vacuum-drying on physicochemical and functional properties of gelatin from *Labeo rohita* swim bladder. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, p. 135–141, 2019.

KENYON, M. Modified Starch, Maltodextrin, and Corn Syrup Solids as Wall Materials for Food Encapsulation. **Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients**, v. 590, p. 42–50, 1995.

KURT, A.; ATALAR, I. **Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream** **Food Hydrocolloids**, 2018.

KURT, A.; CENGİZ, A.; KAHYAĞLU, T. The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salep based ice cream mix. **Carbohydrate Polymers**, v. 143,

p. 116–123, 2016.

LADO, J. et al. Implication of the antioxidant system in chilling injury tolerance in the red peel of grapefruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p. 214–223, 2016.

LARRAURI, J. A. New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 3–8, 1999.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F.; IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. **Fruits**, v. 61, p. 237–250, 2006.

LEÃO, D. P. et al. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146–153, 2017.

LEE, K. H.; WU, T. Y.; SIOW, L. F. Spray drying of red (*Hylocereus polyrhizus*) and white (*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices: Physicochemical and antioxidant properties of the powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 11, p. 2391–2399, 2013.

LENQUISTE, S. A. et al. Jaboticaba peel and jaboticaba peel aqueous extract shows in vitro and in vivo antioxidant properties in obesity model. **Food Research International**, v. 77, p. 162–170, 2015.

LEONG, H. Y. et al. Investigation of betacyanins stability from peel and flesh of red-purple pitaya with food additives supplementation and pH treatments. **Lwt**, v. 98, n. September, p. 546–558, 2018.

LI, N. et al. Structural, rheological and functional properties of modified soluble dietary fiber from tomato peels. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 557–565, 2018.

LIM, S. D. et al. Effect of extraction parameters on the yield of betacyanins from pitaya fruit (*Hylocereus Polyrhizus*) pulps. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 9, n. 2, p. 158–162, 2011.

LIU, R. et al. Fabricating soy protein hydrolysate/xanthan gum as fat replacer in ice cream by combined enzymatic and heat-shearing treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 81, p. 39–47, 2018.

LÓPEZ-VARGAS, J. H. et al. Chemical, Physico-chemical, Technological, Antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 756–763, 2013.

LV, J. et al. Phytochemical compositions, and antioxidant properties, and antiproliferative activities of wheat flour. **Food Chemistry**, v. 135, n. 2, p. 325–331, 2012.

MADENE, A. et al. Flavour encapsulation and controlled release - A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 1–21, 2006.

MAHAYOTHEE, B. et al. Influence of drying conditions on colour, betacyanin content and antioxidant capacities in dried red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). **International Journal of Food Science and Technology**, p. 1–11, 2018.

MCGHEE, C. E.; JONES, J. O.; PARK, Y. W. Evaluation of textural and sensory characteristics of three types of low-fat goat milk ice cream. **Small Ruminant Research**, v. 123, n. 2–3, p. 293–300, 2015.

MEILGAARD, M. C. **Sensory Evaluation Techniques**. 5. ed. [s.l: s.n.].

MÉNDEZ-LAGUNAS, L. et al. Physical properties of spray dried pitaya. **Researchgate.Net**, n. February 2015, p. 2–4, 2013.

MENDOZA, E. et al. Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. **Meat Science**, v. 57, n. 4, p. 387–393, 2001.

MENEZES, E. W. et al. Chemical Composition and Nutritional Value of Unripe

Banana Flour (*Musa acuminata*, var. Nanicão). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 66, n. 3, p. 231–237, 2011.

MERCADO-SILVA, E. M. **Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw)**. [s.l.] Elsevier Inc., 2018.

MOHD ADZIM, K. R. et al. Proximate composition and selected mineral determination in organically grown red pitaya ( *Hylocereus* sp .). **Journal of Tropical Agricultural and Foss Science**, v. 34, n. 2, p. 269–275, 2006.

MOLINA, R. et al. Physical Evaluation and Hygroscopic Behavior of Dragon Fruit ( *Hylocereus undatus* ) Lyophilized Pulp Powder. **Drying Technology**, v. 32, n. 16, p. 2005–2011, 2014.

MOORE, J. et al. Carotenoid, tocopherol, phenolic acid, and antioxidant properties of Maryland-grown soft wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 17, p. 6649–6657, 2005.

MORENO, D. A. et al. Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. **Phytochemistry Reviews**, v. 7, n. 2, p. 261–280, 2008.

MUNIR, A. et al. Evaluation of antioxidant potential of vegetables waste. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 27, n. 2, p. 947–952, 2018.

NADERI, N. et al. Characterization and quantification of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) betacyanin pigments extracted by two procedures. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 35, n. 1, p. 33–40, 2012.

NEDOVIC, V. et al. An overview of encapsulation technologies for food applications. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 1806–1815, 2011.

NOGUEIRA-NUNES, E. et al. Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 90–98, 2014.

NUNES, J. C. et al. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. **Food Chemistry**, v. 197, p. 881–890, 2016.

NURLIYANA, R. et al. Antioxidant study of pulps and peels of dragon fruits: A comparative study. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 2, p. 367–375, 2010.

NURUL, S. R.; ASMAH, R. Variability in nutritional composition and phytochemical properties of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) from Malaysia and Australia. **International Food Research Journal**, v. 21, n. 4, p. 1689–1697, 2014.

OBÓN, J. M. et al. Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, p. 471–479, 2009.

ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 220–237, 2012.

ORTIZ, T. A.; TAKAHASHI, L. S. A. Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 14422–14439, 2015.

OTÁLORA, M. C. et al. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, v. 187, p. 174–181, 2015.

PATHAK, P. D.; MANDAVGANE, S. A.; KULKARNI, B. D. Fruit Peel Waste: Characterization and its Potential Uses. **Current Science**, v. 113, n. 3, p. 444, 2017.

PEDREÑO, M. A.; ESCRIBANO, J. Correlation between antiradical activity and stability of betanine from *Beta vulgaris* L roots under different pH, temperature and light conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 7, p. 627–631, 2001.

PÉREZ-ALONSO, C. et al. Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray-dried microcapsules. **Carbohydrate Polymers**, v. 53, n. 2, p. 197–203, 2003.

PRIATNI, S.; PRADITA, A. Stability Study of Betacyanin Extract from Red Dragon Fruit (*Hylocereus Polyrhizus*) Peels. **Procedia Chemistry**, v. 16, p. 438–444, 2015.

PRIOR, R. L. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC): New horizons in relating dietary antioxidants/bioactives and health benefits. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 797–810, 2015.

RAVINDRAN, R.; JAISWAL, A. K. Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 58–69, 2016.

RODRIGUEZ, E. B. et al. Health-promoting bioactivities of betalains from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton and Rose) peels as affected by carbohydrate encapsulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n. October 2015, p. 4679–4689, 2016.

ROSSA, P. N.; BURIN, V. M.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 224–230, 2012.

RUBNER-INSTITUT, M. Cardioprotective compounds of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruit. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 9, n. November, p. 152–156, 2011.

SAÉNZ, C. et al. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616–622, 2009.

SAÉNZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. *Opuntia* spp. mucilage's: A functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 3, p. 275–290, 2004.

SANDATE-FLORES, L. et al. Evaluation of different methods for betanin quantification in pitaya (*Stenocereus* spp.). **Agro Food Industry Hi-Tech**, v. 27, n. 1, p. 20–24, 2016.

SCHROOYEN, P. M.; VAN DER MEER, R.; DE KRUIF, C. G. Microencapsulation: its application in nutrition. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 60, n. 4, p. 475–479, 2001.

SHAARUDDIN, S. et al. Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 129–134, 2017.

SINTHUSAMRAN, S.; BENJAKUL, S.; KISHIMURA, H. Molecular characteristics and properties of gelatin from skin of seabass with different sizes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 73, n. 1, p. 146–153, 2015.

SOUKOULIS, C.; LEBESI, D.; TZIA, C. Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. **Food Chemistry**, v. 115, n. 2, p. 665–671, 2009.

SPEISKY, H. et al. First web-based database on total phenolics and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) of fruits produced and consumed within the south andes region of South America. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 36, p. 8851–8859, 2012.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 19–38, 2004.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. **Food Chemistry**, v. 77, n. 1, p. 101–106, 2002a.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A; CARLE, R. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. **J Agric Food Chem**, v. 50, n. 8, p. 2302–2307, 2002b.

STOLL, L. et al. Microencapsulation of Anthocyanins with Different Wall Materials and Its Application in Active Biodegradable Films. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 1, p. 172–181, 2016.

STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. **Phytochemistry**, v. 62, n. 3, p. 247–269, 2003.

TANG, B. et al. Effect of different encapsulating agent combinations on physicochemical properties and stability of microcapsules loaded with phenolics of plum (*Prunus salicina* Lindl.). **Powder Technology**, v. 340, p. 459–464, 2018.

TANG, C. S.; NORZIAH, M. H. Stability of betacyanin pigments from red purple pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*): influence of pH, temperature, metal ions and ascorbic acid. **Indo. J. Chem**, v. 7, n. 3, p. 327–331, 2007.

TENORE, G. C.; NOVELLINO, E.; BASILE, A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. **Journal of Functional Foods**, v. 4, n. 1, p. 129–136, 2012.

THANATCHA, R.; PRANEE, A. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. **Journal of Arid Environments J**, v. 68, p. 534–545, 2007.

THIRUGNANASAMBANDHAM, K.; SIVAKUMAR, V. Microwave assisted extraction process of betalain from dragon fruit and its antioxidant activities. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 1, p. 1–8, 2015.

TSAI, P. J. et al. Thermal and pH stability of betacyanin pigment of djalilis (*Chenopodium formosanum*) in Taiwan and their relation to antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 2, p. 1020–1025, 2010.

TSAI, Y. et al. Evaluation of the Antioxidant and Wound-Healing Properties of Extracts from Different Parts of *Hylocereus polyrhizus*. **Agronomy**, v. 9, p. 1–11, 2019.

TUPUNA, D. S. et al. Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. **Industrial Crops and Products**, v. 111, n. December 2017, p. 846–855, 2018.

TZE, N. L. et al. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. **Food Science and Biotechnology**, v. 21, n. 3, p. 675–682, 2012.

VARGAS-CAMPOS, L. et al. Encapsulation and pigmentation potential of betalains of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2436–2445, 2018.

VERGARA, C. et al. Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. **Food Chemistry**, v. 157, p. 246–251, 2014.

WICHIENTHOT, S.; JATUPORNPIPAT, M.; RASTALL, R. A. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 850–857, 2010.

WONG, Y.-M.; SIOW, L.-F. Effects of heat, pH, antioxidant, agitation and light on betacyanin stability using red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) juice and concentrate as models. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 5, p. 3086–92, 2015.

WU, L. C. et al. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food Chemistry**, v. 95, n. 2, p. 319–327, 2006.

ZEE, F. et al. Pitaya (Dragon Fruit, Strawberry Pear). **Frutis and Nuts**, n. June, p. 8–

10, 2004.

ZHUANG, Y.; ZHANG, Y.; SUN, L. Characteristics of fibre-rich powder and antioxidant activity of pitaya (*Hylocereus undatus*) peels. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1279–1285, 2012.

ZUANON, L. A. C.; MALACRIDA, C. R.; TELIS, V. R. N. Effect of Ultrasound on the Stability of Turmeric Oleoresin Microencapsulated in Gelatin-Collagen Matrices. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 2, p. 1–12, 2017.



APÊNDICE I  
Ficha de Análise Sensorial

---

Análise Sensorial de sorvete de morango com reduzido teor de gordura

Nome:

Data:

Idade:

Você está recebendo 3 amostras de sorvete. Prove as amostras da esquerda pra direita, ingerindo água entre elas, e avalie cada parâmetro de acordo com a escala abaixo.

1- desgostei muitíssimo
2- desgostei muito
3- desgostei moderadamente
4- desgostei levemente
5- nem gostei nem desgostei
6- gostei levemente
7- gostei moderadamente
8- gostei muito
9- gostei muitíssimo

Amostra	458	235	
Aparência			
Cor			
Aroma			
Textura			
Sabor			
Sabor residual			
Aceitação global			

Você compraria alguma (s) da (s) amostra (s)? Qual (is)?

Comentários:

## APÊNDICE II

Iogurtes com aplicação do extrato líquido e das microcápsulas de betalaínas com 10% de maltodextrina e 1% de mucilagem e com 10% de maltodextrina nos dias 0 e 28, respectivamente

