



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

FRANCISCO JOSE DA CONCEIÇÃO LIMA

**SECAGEM DA POLPA DE MURICI (*Byrsonima crassifolia*) E EFEITOS SOBRE
COMPOSTOS BIOATIVOS**

São José do Rio Preto – SP

2017

FRANCISCO JOSÉ DA CONCEIÇÃO LIMA

**SECAGEM DA POLPA DE MURICI (*Byrsonima crassifolia*) E EFEITOS SOBRE
COMPOSTOS BIOATIVOS**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de São José do Rio Preto, como requisito para obtenção do título de doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de concentração: Engenharia de Alimentos).

Orientadora: **Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti Telis**

Co-Orientadora: **Prof^a. Dr^a. Audirene Amorim Santana**

São José do Rio Preto – SP

2017

Lima, Francisco José da Conceição.

Secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) e efeitos sobre compostos bioativos / Francisco José da Conceição Lima. -- São José do Rio Preto, 2017
123 f. : il.

Orientador: Vânia Regina Nicoletti Telis

Co-orientador: Audirene Amorim Santana

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Murici (Planta) 2. Polpa de frutas - Secagem. 3. Carotenoides. 4. Antioxidantes. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

FRANCISCO JOSE DA CONCEIÇÃO LIMA

**SECAGEM DA POLPA DE MURICI (*Byrsonima crassifolia*) E EFEITOS SOBRE
COMPOSTOS BIOATIVOS**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de São José do Rio Preto, como requisito para obtenção do título de doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de concentração: Engenharia de Alimentos).

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti Telis
(Presidente / Orientadora – DETA / IBILCE)

Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Moura Rufino
(Membro titular - IDR/UNILAB)

Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez
(Membro titular - COEQ/CCET/UFMA)

Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho
(Membro titular – DETA/IBILCE)

Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Marques Pedro
(Membro titular –UNILAGO / SP)

São José do Rio Preto, 15 de setembro de 2017.

Ao meu filho Francisco, que não se arrependeu em nenhum momento de ter vindo para São José do Rio Preto no meu período de estágio e não me deixou só.

A minha companheira de jornada Ana Maria que sempre me ajudou e apoiou em todos os momentos.

Deus saberá recompensar a cada um.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e oportunidade de progresso nos estudos.

Em especial, à Prof^ª. Dr^ª. Vânia Regina Nicoletti Telis, por todo o aprendizado, seriedade e dinamismo. Pelo exemplo de competência e dedicação, pela valiosa orientação, pela preocupação com o meu trabalho, pelas sugestões e pelo empenho no oferecimento das condições necessárias para o desenvolvimento das minhas atividades.

À Prof^ª. Dr^ª. Audirene Amorim Santana, pela valiosa contribuição na Co-orientação que foi efetiva e eficaz para o desenvolvimento das atividades da minha pesquisa nessa primeira fase.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento dos projetos e bolsas recebidas através do DINTER UNESP/IFMA 557/2013/processo no 23038.009144/2012-41.

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA) na pessoa da Prof^ª. Adenilde Nascimento Mouchrek e ao Prof. Dr. João Elias Mouchrek pelo apoio laboratorial oferecido.

Ao Laboratório de Bebidas e Vinagre – LABEV/LANAGRO - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em Belém – PA, na pessoa do Fiscal Federal Agropecuário Dr. Wagner Yoshihiko Okasak pelo apoio laboratorial disponibilizado.

À Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afrobrasileira – UNILAB e Laboratório de Frutos da Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici, pelo apoio e realização das análises de determinação da atividade antioxidante total nas amostras do pó de murici.

A SUFRUTI pelo apoio recebido no armazenamento das minhas amostras na câmara de estocagem da empresa.

À técnica de laboratório do IFMA Deusur Gonsalves pela contribuição nas análises.

Aos professores da pós-graduação, por todos os ensinamentos e por contribuírem com a minha formação e crescimento profissional.

E, finalmente, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, o que me faz mais consciente de que toda conquista é coletiva e compartilhável com seus partícipes e colaboradores.

“As armas ensaia,
Penetra na vida:
Pesada ou querida,
Viver é lutar.
Se o duro combate
Os fracos abate,
Aos fortes, aos bravos,
Só pode exaltar.”

Antônio Gonçalves Dias

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo produzir pó de polpa de murici (*Byrsonima classifolia*) através da secagem por liofilização com o uso de maltodextrina e amido modificado como agentes carreadores e avaliar a preservação dos compostos bioativos presentes. São tratados aspectos botânicos e geográficos da distribuição do murici, bem como características físico-químicas, nutricionais, aplicações e importância como fontes de compostos bioativos. Diferentes métodos de secagem utilizados na produção de pós são apresentados, indicando aspectos positivos, negativos e aplicações de cada um como a secagem por atomização, liofilização e secagem a vácuo. Associado às diferentes técnicas de secagem são apresentados diferentes agentes carreadores que minimizam os efeitos indesejáveis dos processos de secagem como a pegajosidade e higroscopicidade. Foram avaliadas as propriedades físico-químicas da polpa integral de murici, do bagaço e do sobrenadante e valores os encontrados para os parâmetros avaliados indicam a importância desses materiais, bem como possibilidades de ampliação das formas de utilização e desenvolvimento de novos produtos. Em seguida, foram estudadas as propriedades físico-químicas dos pós obtidos através da microencapsulação e liofilização da polpa integral de murici utilizando maltodextrina (DE 10) e amido modificado (Hi-cap 100), isolados e combinados em diferentes concentrações como materiais encapsulantes. As propriedades avaliadas foram umidade, solubilidade, higroscopicidade, cor, morfologia das cápsulas através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análises espectroscópicas no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Em seguida, os pós da polpa de murici microencapsulada e liofilizada com maltodextrina (DE 10) e amido modificado (Hi-cap 100), isolados e combinados em diferentes concentrações, foram avaliados considerando os efeitos do processo sobre os compostos bioativos (carotenoides totais e fenóis totais) e a atividade antioxidante total pela captura dos radicais livres ABTS e DPPH, além de verificar a existência de fenômenos oxidativos relevantes sobre os compostos avaliados. As características dos pós produzidos se apresentaram em níveis próprios e aceitáveis para produtos liofilizados, com ampliação da possibilidade de aplicações devido à baixa umidade, maior solubilidade e menor higroscopicidade, embora tenha sido constatado diferenças entre os encapsulantes. Não houve interações químicas entre os compostos bioativos e os materiais de parede, com retenção de valores significativos de atividade antioxidante nos pós obtidos por microencapsulação e liofilização.

Palavras-chave: murici, liofilização, maltodextrina, amido modificado, carotenoides, fenóis totais, antioxidantes.

ABSTRACT

The objective of this work was to produce powder of the murici pulp (*Byrsonima classifolia*) through lyophilization using maltodextrin and modified starch as carrier agents and to evaluate the preservation of the bioactive compounds present in the pulp. Botanic and geographic aspects of the murici distribution, as well as physicochemical, nutritional, application and importance as source of bioactive compounds are discussed. Different drying methods used in the production of powders are presented, indicating positive and negative aspects and applications of each one, such as spray drying, freeze-drying and vacuum drying. Associated with the different drying techniques, different carrier agents that minimize the undesirable effects of drying processes such as stickiness and hygroscopicity, are presented. The physicochemical properties of the whole murici pulp, bagasse and supernatant were evaluated, and the values found for the evaluated parameters indicate the importance of the studied materials and the possibility of expanding their use and development of new products. The physicochemical properties of the powders obtained by microencapsulation and freeze-drying of the whole murici pulp using maltodextrin (DE 10) and modified starch (Hi-cap 100), isolated and combined in different concentrations, were studied. The evaluated properties were moisture, solubility, hygroscopicity, color, capsule morphology by scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopic analysis (FTIR). The freeze dried murici pulp powders, microencapsulated using maltodextrin (DE 10) and modified starch (Hi-cap 100), isolated and combined at different concentrations, were studied regarding the processing effects on bioactive compounds (total carotenoids and total phenols), and total antioxidant activity by the capture of the free radicals ABTS and DPPH, in addition to verifying the existence of relevant oxidative phenomena. The characteristics of the produced powders presented acceptable levels for freeze dried products, with an increased possibility of applications due to the low moisture, high solubility and low hygroscopicity, although differences between the encapsulants were observed. There were no chemical interactions between the bioactive compounds and the wall materials with retention of significant values of antioxidant activity in the powders.

Keywords: murici, freeze-drying, maltodextrin, modified starch, carotenoids, total phenols, antioxidants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Byrsonima crassifolia</i> : Árvore muricizeiro.....	19
Figura 2. Estágios de desenvolvimento do murici.....	19
Figura 3. Estrutura molecular da goma arábica.....	31
Figura 4. Estrutura molecular da maltodtrina.....	32
Figura 5. Estrutura molecular do amido modificado.....	33
Figura 6. Espectros do infravermelho da polpa de murici liofilizada sem encapsulante e com encapsulantes: 1) polpa integral pura (0% de encapsulante); 2) polpa integral + 25% maltodextrina 3) polpa integral + 50% maltodextrina; 4) polpa integral + 75% maltodextrina; 5) polpa integral + 25% amido modificado; 6) polpa integral + 50% de amido modificado; 7) polpa integral + 75% de amido modificado; 8) polpa integral + 12,5% maltodextrina + 12,5% de amido modificado; 9) polpa integral + 25% maltodextrina + 25 % de amido modificado; 10) polpa integral + 37,5% maltodextrina + 37,5% de amido modificado.....	59
Figura 7. Micrografias das amostras liofilizadas aumentadas 1000 vezes (esquerda) e 3000 vezes (direita): polpa integral pura; MD25: polpa integral + 25% maltodextrina; MD50: polpa integral + 50% maltodextrina; MD75: polpa integral + 75% maltodextrina.....	62
Figura 8. Micrografias das amostras liofilizadas aumentadas 1000 vezes (esquerda) e 3000 vezes (direita): polpa integral pura; AM25: polpa integral + 25% amido modificado; AM50: polpa integral + 50% amido modificado; AM75: polpa integral + 75% amido modificado.....	63
Figura 9. Micrografias das amostras liofilizadas aumentadas 1000 vezes(esquerda) e 3000 vezes (direita): polpa integral pura; MD/AM12,5: polpa integral +12,5% maltodextrina+ 12,5% amido modificado; MD/AM25: polpa integral + 25% maltodextrina + 25% amido modificado; MD/AM37,5: polpa integral + 37,5% maltodextrina + 37,5% amido modificado.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição da polpa de murici (<i>Byrsonima ssp</i>) por 100: Calorias, nutrientes e minerais.....	23
Tabela 2 Composição centesimal, análises físico-químicas da polpa, bagaço e sobrenadante do murici.....	41
Tabela 3 Planejamento de ensaios de secagem por liofilização com utilização isolada e combinada de encapsulantes.....	42
Tabela 4 Composição centesimal da polpa de murici: polpa integral, bagaço e sobrenadante.....	48
Tabela 5 Valores médios para umidade, solubilidade, higroscopicidade e parâmetros de cor para amostras encapsuladas liofilizadas do murici.....	53
Tabela 6 Resultados experimentais para compostos bioativos e oxidação lipídica do pó da polpa de murici adicionado com materiais de parede* (base úmida).....	66
Tabela 7 Resultados experimentais da atividade antioxidante do pó da polpa de murici adicionado com materiais de parede ¹ (base úmida).....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL E JUSTIFICATIVA	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	Murici (<i>Byrsonima crassifolia</i>)	17
3.2	Características físicas do fruto	20
3.3	Composição química da polpa de murici	21
3.4	Importância e principais aplicações	23
3.5	Secagem	25
3.5.1	<i>Secagem por atomização</i>	26
3.5.2	<i>Liofilização</i>	27
3.5.3	<i>Secagem a vácuo</i>	27
3.6	Uso de agentes carreadores na desidratação de polpas de frutos	28
3.6.1	<i>Goma arábica</i>	30
3.6.2	<i>Maltodextrina</i>	32
3.6.3	<i>Amido modificado</i>	33
3.7	Propriedades antioxidantes do pó da polpa de murici liofilizada com diferentes carreadores	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1	Obtenção e análises da polpa de murici	40
4.1.1	<i>Matéria-prima e preparo das amostras de polpa de murici</i>	40
4.1.2	<i>Obtenção do bagaço e do sobrenadante da polpa de murici</i>	40
4.1.3	<i>Composição centesimal, análises físico-químicas da polpa, bagaço e sobrenadante do murici</i>	40
4.2	Preparo das amostras	41
4.3	Propriedades Físicas	42
4.3.1	<i>Umidade</i>	42
4.3.2	<i>Solubilidade</i>	43
4.3.3	<i>Higroscopicidade</i>	43
4.3.4	<i>Cor</i>	43

4.3.5	<i>Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)</i>	44
4.3.6	<i>Microscopia de varredura eletrônica (MEV)</i>	44
4.4	Avaliação de compostos bioativos e determinação da atividade antioxidante do pó liofilizado de murici	44
4.4.1	<i>Análise de compostos bioativos e oxidação lipídica</i>	44
4.4.2	<i>Análise da atividade antioxidante total</i>	46
4.5	Análise estatística	47
5.1	Caracterização físico-química da polpa de murici integral, bagaço e sobrenadante	48
5.2	Propriedades Físicas do pó da polpa de murici	53
5.2.3	<i>Higroscopicidade</i>	56
5.2.4	<i>Parâmetros de cor</i>	57
5.2.5	<i>Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)</i>	58
5.3	Análise de compostos bioativos e oxidação lipídica	65
5.3.1	<i>Carotenoides totais</i>	65
5.3.2	<i>Polifenóis Extratíveis Totais</i>	67
5.3.3	<i>Oxidação lipídica</i>	69
5.3.4	<i>Atividade antioxidante</i>	69
6	CONCLUSÕES GERAIS	74
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE	88

1 INTRODUÇÃO GERAL E JUSTIFICATIVA

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas tropicais. A diversidade de frutas no mercado tem aumentado e a cada dia se introduz uma nova fruta tropical, cujas propriedades e características ainda não foram totalmente estudadas (KUSKOSKI et al., 2005; ALVES et al., 2008; ANDRIGUETO et al., 2010). Mesmo levando em consideração a grande produção de frutas tropicais no cenário nacional devido às condições favoráveis de clima e solo, o trato na colheita e a tecnologia aplicada na pós-colheita, associados à natureza e estrutura dessas frutas, levam a perdas consideráveis, obrigando à pesquisa e otimização de técnicas que minimizem tais perdas e possibilitem novas formas de utilização dessas matérias primas.

O consumo de frutas e de suas polpas tem sido muito recomendado por seu valor nutricional, alto teor de fibras, vitamina C e carotenoides. Trabalhos recentes têm apontado esses alimentos como fontes de compostos fenólicos com ação antioxidante, portanto sequestradores de radicais livres, com ação protetora contra o surgimento e/ou desenvolvimento de processos degenerativos que conduzem a doenças crônicas não transmissíveis, resultando na crescente comercialização e consumo de polpas de frutas no Brasil (VIEIRA, 2011). Hoje já se sabe da relação entre a alimentação e a incidência e/ou prevenção de certas doenças crônicas não transmissíveis (MANHÃES; SABAA-SRUR, 2011; ABADIO FINCO; SILVA; DE OLIVEIRA, 2012), resultando numa crescente preocupação do consumidor com a relação entre a dieta e saúde (YAHIA, 2010).

O murici (*Byrsonima crassifolia*) é uma fruta de sabor e aroma exóticos, bastante apreciada regionalmente, mas ainda pouco explorada industrialmente. Considerando a ampliação no interesse dos mercados interno e externo por frutas exóticas, essa fruta apresenta um potencial significativo para aproveitamento e expansão na aceitação gastronômica, e como alternativa de renda para o mercado produtor interno. Na composição do murici foram encontradas quantidades significativas de carotenoides, compostos fenólicos e vitamina C, razão pela qual é reconhecida a sua capacidade antioxidante. Todavia, estudos adicionais são necessários para investigar mais detalhadamente a capacidade antioxidante de seus compostos bioativos e resistência de tais substâncias aos processos industriais (ABADIO FINCO; SILVA; DE OLIVEIRA, 2012).

A produção da polpa do murici em pó representa uma alternativa interessante no sentido de melhorar a conservação deste produto, diversificação para consumo e ampliação

das possibilidades de aplicações em formulações alimentícias. Dentre as alternativas de processos para a produção de sucos de frutas em pó, algumas são mais utilizadas por questões de versatilidade e facilidade de acesso aos equipamentos, bem como pelo potencial de produzir menor número de alterações indesejáveis ou maior conservação das características do fruto a ser desidratado; outras são utilizadas levando em consideração a possibilidade de resultar em produtos de alto valor agregado.

A secagem por atomização (*spray drying*), a liofilização (*freeze drying*) e a secagem a vácuo (*vacuum drying*) são processos que podem ser utilizados na produção de sucos e polpas de fruta em pó, que permitem manipular produtos sensíveis ao calor sem afetar demasiadamente sua qualidade, devendo ser considerado que cada processo dará origem a produtos com características próprias decorrentes das variáveis do processo e tipos de equipamentos empregados (RÉ, 1998; CALISKAN; DIRIM, 2013).

Por outro lado, a secagem de sucos ou polpas de frutas, em geral, é dificultada devido ao comportamento pegajoso que os frutos exibem quando submetidos a variações de umidade e temperatura. A pegajosidade e a elevada higroscopicidade ocasionam problemas de manipulação, pois causam aglomeração e colapso (redução de volume e de porosidade), reduzindo o rendimento, causando danos na qualidade do produto durante seu armazenamento e prejudicando sua utilização final (BHANDARI, 2007; FERRARI; GERMER; DE AGUIRRE, 2012). Nesse contexto, na produção de sucos e polpas de frutas em pó é de grande importância a viabilização e otimização de processos de secagem que preservem teores significativos de substâncias importantes para o organismo humano, além de resultar em produtos com boas características sensoriais e alto rendimento, possibilitando múltiplas aplicações na indústria alimentícia.

Uma alternativa para evitar os problemas de manipulação e processamento é adicionar agentes carreadores, também chamados de encapsulantes, que melhoram a estabilidade do material durante a secagem e armazenamento, devido ao aumento da temperatura de transição vítrea. Entre os compostos mais utilizados como agentes carreadores estão a maltodextrina e o amido modificado, os quais também podem desempenhar a função de encapsulantes (BHANDARI et al., 1993; RIGHETTO; NETTO, 2005).

As maltodextrinas são produtos da hidrólise parcial do amido com valores de dextrose equivalente (DE) menor que 20, e podem ser obtidas de amidos de diferentes espécies. A dextrose equivalente (DE) é uma medida que caracteriza a extensão da hidrólise do amido e também indica uma média do peso molecular. Conforme aumenta o grau de hidrólise, a média do peso molecular diminui e a DE aumenta. Como referências utilizam-se o amido (DE=0) e a

glicose (DE=100). A maltodextrina é amplamente utilizada como agente encapsulante, auxiliando na produção de alimentos em pó, principalmente na secagem de sucos de frutas, por ser um material inodoro, de baixo custo e possuir baixa viscosidade em altas concentrações. A maltodextrina consiste de uma mistura de sacarídeos com uma ampla distribuição do peso molecular, disponível no mercado na forma de pó (ALEXANDER JR, 1992).

O amido é um material que pode ser obtido de várias fontes, dessa forma é abundante e de baixo custo. Todavia, na forma nativa tem sua aplicação limitada como encapsulante devido à alta viscosidade das soluções formadas e à baixa ação emulsificante. Sendo assim, os amidos sofrem modificações químicas na sua estrutura nativa, o que resulta em amidos modificados com baixa viscosidade e permite seu uso em maiores concentrações, possibilitando sua aplicação como encapsulante com ação protetora aos componentes voláteis e de interesse biológico.

Considerando que a encapsulação é uma alternativa que minimiza a degradação de compostos bioativos e que os dados obtidos com o emprego de agentes carreadores se constituem em importante ferramenta no sentido de superar os problemas operacionais da desidratação de polpas de frutas (GHARSALLAOUI, 2007), além de seu papel fundamental na proteção de substâncias químicas antioxidantes termo sensíveis de interesse nutricional durante a secagem, conferindo estabilidade, durabilidade e garantia de preservação da atividade biológica esperada, este trabalho justifica-se como importante passo na avaliação da preservação de compostos bioativos presentes na polpa de murici submetida ao processo de secagem por liofilização com o uso de maltodextrina e amido modificado como agentes carreadores.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetivou-se a produção de pós a partir da polpa de murici integral através da secagem, com emprego de maltodextrina e amido modificado como materiais de parede, e avaliação das propriedades físico-químicas e dos efeitos sobre os compostos bioativos.

2.2 Objetivos específicos

- Obtenção do pó da polpa de murici através do processo de secagem por liofilização com o emprego de maltodextrina e amido modificado como agentes carreadores.
- Avaliação das propriedades físico-químicas do pó da polpa de murici liofilizado em função de diferentes materiais carreadores e concentrações.
- Avaliação do teor de compostos fenólicos totais, carotenoides totais e atividade antioxidante dos pós produzidos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Na literatura não há divergência a respeito da importância nutricional das frutas na alimentação humana, seja pelo menor teor energético fornecido quando consumidas, seja pela quantidade e diversidade de substâncias químicas encontradas na sua composição, as quais não são produzidas pelo organismo humano, mas são indicadas como essenciais para o seu funcionamento adequado (ABADIO FINCO; SILVA; DE OLIVEIRA, 2012).

Mesmo considerando a produção comercial de frutas que tem aumentado com a melhoria das técnicas de pré e pós-colheita, o desperdício e as perdas durante o transporte e armazenamento ainda são enormes. Em parte, pela ineficiência ou inadequada aplicação de tecnologias de conservação, ou de outro modo, pela falta de informações que subsidiem a aplicação correta de meios adequados para preservação das propriedades nutricionais das frutas (CHITARRA; CHITARRA, 2005; ANDRIGUETO et al., 2010).

Em geral, os estudos de caracterização de frutas em termos físicos, físico-químicos e nutricionais, visam obter dados que possibilitem o planejamento e projeto de máquinas e equipamentos para o processamento industrial, bem como informações que indiquem a composição de macro e micronutrientes presentes na frutífera, avaliada com vistas à sua indicação e melhor aproveitamento na alimentação (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2006).

Desse modo, o presente estudo objetivou obter informações que contribuam para a melhor utilização do murici (*Byrsonima crassifolia*), ressaltando sua importância nutricional, possível aplicação e potencialidades de uso de sua polpa desidratada.

3.1 Murici (*Byrsonima crassifolia*)

As frutas tropicais apresentam cores, sabores e composição nutricional variada, mas no geral são aceitas local, nacional e internacionalmente por seus sabores exóticos e nutrientes necessários e indispensáveis à dieta humana. Podem, ainda, ser fonte de muitas substâncias usadas nas indústrias químicas, farmacêuticas e de cosméticos pelas inúmeras propriedades, inclusive no combate e prevenção de moléstias graves que acometem seres humanos, como aquelas associadas à liberação de radicais livres que geralmente se relacionam aos cânceres e envelhecimento precoce de tecidos (ROESLER et al, 2007; LAHMAR et al, 2017).

Byrsonima crassifolia (L.) Rich é o nome científico da planta, cujo nome comum é murici, pertencente ao grupo das Angiospermas, as quais são plantas vasculares, de corpo

dotado de raízes, caule, folhas, flores, frutos e sementes. O Museu Paraense Emílio Goeldi (2011) desenvolveu estudo taxonômico da família Malpighiaceae Juss. e, dentre outros gêneros, analisou o *Byrsonima*, o qual configurou-se o mais representativo ocorrente numa área de preservação ambiental de floresta de restinga, no Pará. Neste estudo, entre as espécies coletadas o *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, cujo nome vernacular do fruto pode ser murici, muruci, ou murii, obteve as seguintes caracterizações: o fruto é obtido de arbusto ou árvore de até 5 m de altura; é um fruto nukulânio, globoso, rugoso, verde quando imaturo e amarelo quando maduro, carnosos, glabro, não alado, ápice arredondado a pouco mucronado.

Murici é uma fruta nativa da Bacia Amazônica no Brasil, e das florestas tropicais secas do sul do México, Antilhas e América Central. O gênero *Byrsonima* pertence à família Malpighiaceae, a mesma da acerola (*Malpighia emarginata*). Essa família apresenta em torno de 1330 espécies em 77 gêneros, sendo o *Byrsonima* um dos maiores gêneros com aproximadamente 150 espécies com distribuição em regiões tropicais. (VIEIRA et al, 2010; DUARTE, 2011; GUILHON-SIMPLÍCIO; PEREIRA, 2011; MARIUTTI L.R.B, 2014). O murici ocorre espontaneamente ou é cultivado em todos os países limítrofes com a Amazônia brasileira, América Central e Caribe (MARIUTTI L.R.B, 2014). Na Amazônia brasileira, encontra-se distribuído sobre os estados do Amazonas, Amapá, Pará, Roraima, Tocantins e Maranhão (DA SILVA et al., 2016), além de abranger os seguintes países: Belize, Bolívia, Caribe, Costa Rica, El Salvador, Estados Unidos da América, Guiana Francesa, Guatemala, Guiana, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Suriname, Venezuela (MOBOT, 2010; MAMEDE; FRANCENER, 2015). Os nomes similares para Murici (*Byrsonima crassifolia*) são: nance ou nancite na América Central; peralejo em Cuba; nanche no México; indano no Peru; changugu no Caribe; golden spoon ou golden cherry nos EUA (DUARTE, 2011).

O muricizeiro é uma planta frutífera arbustiva de pequeno porte que pode chegar a uma altura máxima de 5 m, possui copa densa de folhas verde brilhante. Sua reprodução é por sementes que estão contidas em endocarpo pétreo constituindo o pirênio, popularmente denominado caroço, que ocasiona baixa e desuniforme taxa de germinação (MURAKAMI et al., 2011; UEKANE et al., 2017).

Os frutos são formados a partir de flores amarelas fecundadas por polinização aleatória (Figura 1). A planta tem seu ciclo reprodutivo nos meses de dezembro a abril e se multiplica espontaneamente em regiões de solos arenosos, porém já vem sendo cultivado em algumas regiões com finalidade comercial e industrial. A sazonalidade é um fator que limita a comercialização e o acesso da população ao fruto (ALVES et al., 2008).

Figura 1. *Byrsonima crassifolia*: árvore muricizeiro (a); floração e formação do fruto (b); fruto maduro (c).



Fonte: Lima, FJC(2015)

Na época de sua frutificação, a mata verde fica pintada pelo amarelo do fruto. No litoral das regiões Norte e Nordeste, foram identificadas cerca de 130 espécies de muricis. O nome dessa árvore é de origem tupi e significa “árvore pequena”. Nessa região, mais especificamente na caatinga, o período de floração é logo após as chuvas.

O fruto também é conhecido por douradinha-falsa, mirici, muruci, muricizinho, orelha-de-burro e orelha-de-veado (os dois últimos nomes são dados por causa do formato das folhas). Possui várias espécies e, por isso, pode ser encontrada em cores diferentes, dependendo do local da sua ocorrência. No início da formação, apresenta cor verde brilhante e aumenta de tamanho com o recebimento de nutrientes da planta mãe; já maduro apresenta a cor amarela (FERREIRA, 2005) (Figura 2).

Figura 2. Estágios de desenvolvimento do murici: pré-maturação (a); maturidade fisiológica (b); amadurecido (c); polpa integral (d).



Fonte: Lima, FJC (2015)

Os muricis não são exclusivos da floresta, podendo ser encontrados nas savanas, cerrados, campos e matas. De acordo com o Jardim Botânico do Rio de Janeiro, o domínio fitogeográfico do murici abrange os ecossistemas Amazônico, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (2015), já a distribuição geográfica nos estados do Brasil tem sua

ocorrência confirmada por região: Nordeste (Maranhão, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte); Norte (Amazonas, Amapá, Pará, Roraima, Tocantins; Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso) e Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo). No Maranhão é uma espécie característica da faixa de transição entre a Amazônia e o cerrado, sendo encontrado ao longo da costa litorânea em solos arenosos com penetração nas baixadas ocidental e oriental, até a região central. O município de Belágua (MA), na região do Baixo Parnaíba, é conhecido por apresentar as mais densas populações locais desta espécie no estado. A produção maranhense é tipicamente extrativa e absorvida nos mercados locais e regionais (MOURA, 2004). Não há relatos de existência de cultivos comerciais naquele estado, contudo há referências do cultivo no estado do Mato Grosso (FERREIRA, 2005; GUIMARÃES; SILVA, 2008).

3.2 Características físicas do fruto

O fruto do murici é uma drupa pequena, trilocular, arredondada ou alongada, tendo em média 1 a 2 cm de diâmetro (GUSMÃO; VIEIRA; FONSECA JÚNIOR, 2005); o exocarpo (casca externa) é delgado, suave e normalmente muda da cor verde para o amarelo, e às vezes para laranja avermelhado quando maduro. No entanto, a casca de alguns tipos permanece verde mesmo quando madura. A cor da polpa varia de branco a branco-amarelado ou creme (DONADIO, 2002). O mesocarpo - a parte comestível - é pastoso, medindo cerca de 5 mm de espessura de polpa carnosa, macia e oleosa, possuindo sabor e aroma exóticos, com características próprias no fruto maduro. Já o endocarpo (caroço) é arredondado ou ovalado, rígido, com uma semente viável (REZENDE et al., 2003; EMBRAPA, 2005; GUIMARÃES; SILVA, 2008; MARIUTTI L.R.B. et al., 2012; MARIUTTI; RODRIGUES; MERCADANTE, 2013).

O sabor do fruto pode ser doce, ácido, ou às vezes amargo, dependendo da variedade, sendo neste caso as menos apreciadas: *Byrsonima crispa* Juss (murici-da-mata), *Byrsonima lancifolia* Juss (murici-miúdo), *Byrsonima Verbascifolia* (L.) Rich (murici-rasteiro), *Byrsonima amazonia* Gris (murici-vermelho) (FERREIRA, 2005; BRASIL, 2005).

A colheita é realizada de forma manual, diretamente na árvore ou no solo onde caem os frutos, sendo a mão-de-obra mais utilizada na colheita deste fruto representada por mulheres e crianças. A produção média gira em torno de 12 kg por pé; em pomares racionalizados com 277 plantas/ha, a produção pode atingir até 4.500 kg/ha (FERREIRA, 2005).

3.3 Composição química da polpa de murici

O Brasil apresenta grande diversidade de frutos tropicais, o reflexo natural deste fato é variedade de polpas de frutas disponibilizadas ao mercado consumidor. A maioria de tais polpas apresenta padrão de identidade e qualidade que, de certa forma, estabelece as características físicas, físico-químicas e sensoriais mínimas para apresentação e consumo. Ocorre que ainda existem muitas frutas para os quais não foram estabelecidos os padrões de identidade e qualidade, dentre esses está o murici.

A inexistência do padrão de identidade e qualidade para determinado fruto, todavia, não inviabiliza a existência da polpa nem tão pouco seu consumo, uma vez que tal existência independe de tais padrões. Contudo, se tais parâmetros são regulamentados, estes podem servir de orientação para quem consome e para quem, de alguma forma utiliza ou aplica tais informações e, até mesmo, por questões de saúde e dietas controladas.

Segundo a Instrução Normativa do MAPA (BRASIL, 2000), os padrões de identidade e qualidade de polpas são estabelecidos com base em características dos frutos que lhe deram origem e geralmente são: sólidos solúveis em °Brix a 20°C, pH, acidez total expressa em ácido cítrico (g/100 g), ácido ascórbico (mg/100 g), açúcares totais (naturais), sólidos totais (g/100 g).

Assim, polpa ou purê de frutas é o produto obtido por esmagamento das partes comestíveis de frutas carnosas por processos tecnológicos adequados, podendo ainda ser definida como o produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido de frutos polposos, com um teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto. O produto deve ser preparado com frutas sãs, limpas e isentas de parasitas e de detritos animais ou vegetais. Não deve conter fragmentos das partes não comestíveis da fruta, nem substâncias estranhas à sua composição normal, exceto as previstas em norma específica emitida pelo órgão competente, podendo ser tolerada a adição de sacarose em proporção a ser declarada no rótulo (BRASIL, 2016).

As características físicas, químicas e sensoriais das polpas de frutas, naturalmente deverão ser as provenientes da fruta que lhe deu origem, observando-se os limites mínimos e máximos fixados para cada polpa de fruta, previstos nas normas específicas (BRASIL, 2000).

Em geral as polpas de frutas são matérias-primas intermediárias empregadas na manufatura de vários outros produtos entre os quais doces, biscoitos, sorvetes, iogurtes, geleias, recheios, xaropes, licores (UEKANE et al., 2017; MARIUTTI et al., 2014; GUIMARÃES; SILVA 2008). Portanto, a determinação e o estudo das propriedades físico-

químicas das polpas de frutas contribui para melhor aplicação e planejamento de novos produtos.

A polpa de murici apresenta como característica importante a sua consistência, de modo que, quando fracionada convenientemente pode gerar dois produtos distintos em suas características físico-químicas, mas com aplicações diferentes, sem perdas significativas das propriedades nutricionais e organolépticas: o bagaço e o sobrenadante.

Outro aspecto importante a ser considerado no que se refere às propriedades físico-químicas, é a possibilidade de a maioria das frutas, e conseqüente de suas polpas, apresentarem atividade antioxidante, o que já tem sido demonstrado na literatura para várias frutas, inclusive para o murici, sendo tal fato relevante em vista de que nas regiões onde esse fruto é abundante, este pode ser consumido pelas populações locais, trazendo benefícios para a saúde e contribuindo para o equilíbrio nutricional (RUFINO et al., 2010; SOUZA et al., 2012; ABADIO FINCO; SILVA; OLIVEIRA, 2012; MARIUTTI et al., 2014).

O murici apresenta, na sua composição, uma variedade significativa de substâncias químicas de importância nutricional; as mais mencionadas na literatura científica são proteínas, lipídeos, carboidratos, vitaminas (B₁, B₂, niacina, C, retinol), minerais (cálcio, fósforo, ferro), além de fibras e água, sendo ainda importante fonte de luteína e zeaxantina (MARIUTTI et al., 2013). Além disso, foram identificados, pela técnica de análise HPLC-DAD-MS, cerca de 27 principais compostos fenólicos em seu extrato liofilizado, destacando-se em maior proporção a quercetina, seguido de ácido gálico, protoantocianidinas e derivados de quercetina (GORDON et al., 2011; MARIUTTI et al., 2014). A Tabela 1 apresenta a composição da polpa de murici segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

TABELA 1: Composição da polpa de murici (*Byrsonima ssp*) por 100 g: Calorias, nutrientes e minerais.

Componente	Quantidade/100g de parte comestível
Calorias	66 Kcal
Umidade	82,20 g
Proteínas	0,90 g
Lipídeos	1,30 g
Carboidratos	14,40 g
Fibra	2,20 g
Cinzas	0,60 g
Cálcio	33,00 mg
Fósforo	17,00 mg
Ferro	2,00 mg
Retinol equivalente	7,00 mmg
Vitamina B ₁	0,02 mg
Vitamina B ₂	0,04 mg
Niacina	0,40 mg
Vitamina C	84,00 mg
Parte não comestível	46,5%

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 1999 / 2011.

As substâncias de maior impacto no aroma do murici foram identificadas como sendo: butanoato de etila (frutal, doce), hexanoato de etila (frutal), 1-octeno-3-ol (aroma semelhante a cogumelo), ácido butírico (queijo rançoso), ácido hexanóico (pungente, queijo) e 2-fenilatanol (floral) (REZENDE; FRAGA, 2003).

Alves e Franco (2003) detectaram 46 compostos voláteis por cromatografia gasosa, dos quais 41 foram identificados, com predominância para ésteres (52-56%) e álcoois (29-32%), sendo que os principais compostos foram etanol (28,1%), hexanoato de etila, hexanoato de metila (5,2%), ácido butanoico (5,1%) e ácido hexanóico (5,1%).

3.4 Importância e principais aplicações

O Estado do Maranhão está situado na chamada Amazônia Legal, o ecossistema de maior biodiversidade do planeta que conta com grande variedade de frutos nativos exóticos. As populações locais que vivem do extrativismo têm o murici como uma importante fonte de renda, sendo comum sua comercialização em feiras livres (GUSMÃO; VIEIRA; FONSECA JÚNIOR, 2006, MARIUTTI et al., 2014).

Apesar da importância social das frutíferas nativas para algumas regiões, diversos estudos consideram o murici como fruto subutilizado e desconhecido de grande parte da população, mas que poderia dar origem a alimentos nutritivos e saborosos. Assim, o desenvolvimento de pesquisas que visem à geração de conhecimentos e tecnologias que

permitam melhores formas de aproveitamento desta espécie poderá contribuir para inseri-la no agronegócio regional e nacional (SILVÉRIO; FERNANDES-BULHÃO, 2009; LOURENÇO et al., 2013).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento estabelece alguns mecanismos que viabilizam o financiamento da estocagem, armazenagem, venda de estoques públicos de produtos agropecuários e equalização de preços e custos para garantir abastecimento e comercialização. Dentre esses mecanismos está a Política de Preços Mínimos para produtos da Sociobiodiversidade - PGPM Bio, cujo fundamento legal é o Decreto-Lei nº 79, de 19/12/1966 e a Lei nº 8.171, de 17/01/1991 (BRASIL, 2016). Essa política é direcionada a diversos segmentos menos favorecidos tais como o da agricultura familiar, povos indígenas e de comunidades tradicionais como quilombolas, promovendo condições de ampliação do acesso a alimentos saudáveis a pessoas em situação de insegurança alimentar e nutricional. Desde 2011 especula-se a inserção do murici na relação de produtos extrativistas participantes desta política afirmativa, o que beneficiaria diretamente o produtor (CONAB, 2016).

No Maranhão, segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD-2013), a prevalência de domicílios em situação de segurança alimentar é de apenas 39,1% de cerca de 1845 em mil unidades de domicílios particulares, estando cerca de 9,8% em situação de insegurança alimentar grave (IBGE, 2014). A inserção de novas tecnologias para a preservação das propriedades nutricionais de alimentos seria uma alternativa a mais na redução desses indicadores, e levaria ao incremento do mercado doméstico e internacional com o reconhecimento de seu valor nutricional e terapêutico (RUFINO et al., 2009).

O murici é bastante apreciado na culinária do cerrado e consumido principalmente *in natura*, ou pode ser despolpado para o preparo de sucos, sorvetes, geleias, doces e bebidas como licor (GUILHON-SIMPLÍCIO; PEREIRA, 2011; MARIUTTI et al., 2013), podendo ainda, ser consumido misturado à farinha de mandioca.

O uso tradicional de suas propriedades medicinais remonta a períodos pré-hispânicos por diversos grupos étnicos como os povos Tzeltal no México (HEINRICH et al., 1998; MARTINEZ-VÁZQUEZ et al., 1999; MORALES et al., 2001). Do muricizeiro os moradores locais aproveitam as folhas, casca, sementes e frutos, utilizando de conhecimentos tradicionais como meio alternativo medicinal para tratamento de distúrbios gastrointestinais, inflamações ginecológicas, infecções de pele e picadas de cobras (FERREIRA, 2005; GUSMÃO; VIEIRA; FONSECA JÚNIOR, 2006). Estudos químicos e/ou farmacológicos no fruto têm apresentado resultados promissores em sua ação antioxidante *in vitro* (MARIUTTI et al., 2013), antimicrobiana (MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, 1999), antifúngica sendo muito ativo

para *Epidermophyton floccosum*, *Microsporium canis* e *Trichophyton rubrum*, atividade anti-hiperglicêmica (PEREZ-GUTIERREZ et al., 2010), anti-hiperlipidêmico, destacando a baixa toxicidade em administração por via oral (inativo em ratos) já evidenciado em ensaios citotóxicos, genotóxicos, e mutagênicos *in vivo* e *in vitro* (GUILHON-SIMPLÍCIO; PEREIRA, 2011).

A especificidade das suas propriedades neurofarmacológicas tais como: anticonvulsivo, ansiolítico, antidepressivo, os efeitos sedativos produzidos em seus extratos, bem como a identificação dos constituintes neuroativos, permanecem sendo objeto de estudos (HERRERA-RUIZ et al., 2011).

3.5 Secagem

A produção de pós envolve a perda ou redução do conteúdo de água presente nos alimentos; tal fato, por si só, traz consigo o potencial para alterações nas propriedades físico-químicas, devendo-se estar atento ao que ocorre nos diferentes métodos de secagem que originam produtos em pó. É importante ser considerado que o conhecimento das propriedades físicas dos pós alimentícios é utilizado como referência nos projetos de máquinas e equipamentos, assim como em processos de controle que visam a melhor eficiência de uma operação.

A secagem de polpas de frutas para a produção de pós é uma operação que apresenta certo grau de dificuldade devido à composição dos frutos, e conseqüentemente, das polpas resultantes, as quais apresentam grande proporção de açúcares e ácidos orgânicos. Tais compostos são responsáveis pela alta higroscopicidade e pegajosidade do material desidratado. Essa situação pode ser minimizada com a utilização de encapsulantes ou materiais de parede que, misturados à matéria que se deseja secar, facilitam a secagem e ajudam a preservar os constituintes de interesse nutricional (BHANDARI, 2007). Contudo, a adição de encapsulantes também pode modificar propriedades importantes, o que justifica o estudo e acompanhamento de tais modificações com vistas a prever o comportamento durante a produção, transporte e armazenamento, além de minimizar perdas e manter a qualidade do produto.

Dessa forma, informações a respeito da umidade, solubilidade, higroscopicidade, cor, além de espectros de absorção no infravermelho e imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) são de grande relevância, uma vez que podem indicar alterações

significativas no produto obtido de acordo com o método de secagem e material encapsulante empregado para a obtenção dos pós.

3.5.1 Secagem por atomização

A secagem por atomização ou pulverização, também conhecida como *spray drying*, é um processo contínuo em que um líquido ou pasta é transformado em produto seco, em curto espaço de tempo de secagem (GAVA et al., 2008, SAGAR; SURECH KUMAR, 2010). Consiste, de forma geral, na atomização do produto num compartimento que recebe fluxo de ar quente, o que permite a rápida evaporação e manutenção da baixa temperatura das partículas sem modificar de forma significativa as características do produto obtido, sendo este um processo empregado na indústria alimentícia e farmacêutica (FELLOWS, 2006; SILVA et al., 2011; GAVA et al., 2008; GHARSALLAOUI, 2007, FERRARI et al., 2012; CAVALCANTE, et al., 2017).

O grande interesse pelo emprego da técnica de *spray drying* na industrialização de sucos e polpas se dá pelas vantagens apresentadas que, para vários autores são: flexibilidade operacional, facilidade de otimização do processo, possibilidade de aplicação tanto em produtos termo estáveis como termo sensíveis, grande volume de produção, o que seria conseguido a um custo acessível ou assimilável (SAGAR; SURESH KUMAR, 2010; FERRARI; GERMER; DE AGUIRRE, 2012). O pequeno tempo de residência dos produtos na câmara de secagem tornou-se o principal atrativo para a secagem de materiais que apresentam sensibilidade ao calor, como alimentos e materiais de origem biológica, dentre os quais podem ser citados extratos e produtos oriundos de plantas, corantes, microrganismos, produtos com leveduras, enzimas e proteínas (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2006).

A secagem por *spray drying* permite o emprego de agentes encapsulantes como auxiliar no processo com vistas a proteger as substâncias de interesse, mantendo as propriedades funcionais, biológicas, nutricionais e estabilidade ao produto final (RÉ, 1998; RÉ, 2000; FAVARO-TRINDADE, 2008).

Os produtos em pó microencapsulados produzidos pela secagem por atomização (*spray drying*) apresentam, em geral, alta área superficial, partículas de formato esférico, baixa umidade, baixa higroscopicidade e alta solubilidade (CAPARINO et al., 2012; MALACRIDA et al., 2015; MOSER, SOUZA, TELIS, 2017; SOUZA et al., 2016; DAG, KILERCIOGLU; OZTOP, 2017).

3.5.2 Liofilização

Liofilização ou criosecagem (*freeze-drying*) é um processo de desidratação de produtos em condições de pressão e temperatura tais que a água, previamente congelada, sublima passando do estado sólido diretamente para o estado gasoso (RATTI, 2001; RATTI, 2005; GAVA et al., 2008). Na liofilização não existe grande volume de água em estado líquido, sendo mínimas as modificações dos alimentos, fazendo com que as características nutritivas e sensoriais do produto final sejam muito similares às do alimento fresco. O processo ocorre em duas fases, denominadas desidratação primária e secundária, com transferência simultânea de massa e energia em baixa temperatura e ausência de ar atmosférico, o que preserva as propriedades químicas e organolépticas (ODÓÑEZ PEREDA et al., 2005).

A liofilização pode ser empregada em alimentos líquidos (sucos de frutos), sólidos ricos em água e pastosos (polpas de frutos). Segundo Gava et al. (2008), todo o processo de liofilização deve ocorrer em temperatura inferior a 0°C e pressão inferior a 4,7 mm de mercúrio (ponto triplo da água). Deve ser considerado que este processo apresenta baixa velocidade de desidratação e elevados custos de equipamento e operação.

O passo inicial da liofilização é o congelamento dos produtos para que ocorra a transformação da fase aquosa dos alimentos em uma mistura de duas fases (cristais de gelo e solução concentrada dos solutos), podendo esse congelamento ocorrer num congelador ou no próprio liofilizador. O tempo e a velocidade de congelamento são de grande importância, dado que a distribuição dos poros é função direta do tamanho e da localização dos cristais de gelo formados, a fim de promover uma adequada saída do vapor de água durante o processo de sublimação. Os microencapsulados obtidos pela técnica de secagem por liofilização apresentam partículas irregulares de estrutura porosa, boa solubilidade, baixa umidade, alta higroscopicidade, melhor preservação de atributos sensoriais e nutricionais e baixa atividade água (CAPARINO et al., 2012; MALACRIDA et al., 2015; MOSER, SOUZA, TELIS, 2017; SOUZA et al., 2016; DAG, KILERCIOGLU; OZTOP, 2017).

3.5.3 Secagem a vácuo

A presença de oxigênio e as altas temperaturas durante a secagem convectiva aceleram reações químicas e enzimáticas que afetam o *flavor*, a quantidade de nutrientes, a textura e a

perda de qualidade, o que leva à busca de soluções que conduzam a melhores resultados com menor custo.

O vácuo é a condição física usada para adicionar calor e remover o vapor de água, podendo ser utilizadas baixas temperaturas para minimizar efeitos negativos como a descoloração ou decomposição de componentes termo sensíveis (SAGAR; SURESH KUMAR, 2009). A secagem a vácuo é uma modalidade de desidratação utilizada como alternativa para a secagem convectiva comum, em que a perda de água ocorre em temperaturas mais baixas e em menores taxas de oxigênio, sendo também reconhecida como responsável por altas taxas de secagem com menor consumo de energia, o que favorece os processos industriais que utilizam esse tipo de secagem por meio da redução de custos de produção (ALIBAS, 2007; 2009). A aplicação de vácuo em uma câmara provoca redução da temperatura de evaporação da água e de outros fluidos constituintes dos alimentos, mantendo a câmara livre de contaminação por poeiras e sujeiras (ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2005).

O processo de secagem a vácuo se constitui uma boa alternativa para preservação de compostos bioativos e termolábeis, entre os quais os fenólicos, uma vez que o processo de secagem convectiva provoca significativas perdas de catequina, epicatequina e florizina (JOSHI et al., 2011). Os pós obtidos pela secagem em estufa a vácuo apresentam baixa umidade, baixa atividade de água e baixa solubilidade (ŠUMIĆ et al., 2013).

Há pesquisadores que, ao tratarem das possibilidades da secagem a vácuo, afirmam que os compostos fenólicos, por serem compostos bioativos muito importantes devido às propriedades antioxidantes, podem definir a qualidade de produtos submetidos a secagem e que a presença desses compostos influencia no sabor, aroma e cor de produtos secos, sendo importante a sua preservação (ŠUMIĆ et al., 2013; MILIKULIĆ-PETCOVSEK et al., 2015). A otimização do processo de secagem a vácuo é muito importante para a indústria, uma vez que a economia e a qualidade do produto são afetadas diretamente (ŠUMIĆ et al., 2016).

3.6 Uso de agentes carreadores na desidratação de polpas de frutos

A secagem representa uma alternativa para melhorar a conservação de frutos, mas deve-se considerar que na composição de frutos estão presentes, entre outros, açúcares de baixo peso molecular e ácidos orgânicos que estarão presentes na polpa e conseqüentemente no pó, o que ocasionará manifestações de propriedades indesejáveis no produto seco que podem ser pegajosidade (*stickiness*) e alta higroscopicidade (BHANDARI, 2007). Uma solução que vem sendo utilizada é o emprego de agentes carreadores, também conhecidos

como materiais encapsulantes ou veículos, os quais podem ser açúcares, gomas, proteínas, polissacarídeos naturais ou modificados, lipídeos e polímeros sintéticos (AZEREDO, 2005).

Os agentes carreadores são substâncias poliméricas naturais ou artificiais empregadas antes do processo de secagem para proteger uma ou mais substâncias de interesse, sobretudo quando tais substâncias são termo sensíveis ou instáveis diante de fatores naturais e/ou ambientais. Esse é o caso da secagem para a obtenção de produtos em pó, onde o calor pode provocar alterações indesejáveis, ou mesmo quando as propriedades tecnológicas finais do produto obtido pela secagem conferem instabilidade, diminuindo sua vida de prateleira (FAVARO-TRINDADE, 2008). A utilização de agentes carreadores tem sido o meio mais comum para minimizar efeitos indesejáveis quando se utiliza *spray drying* como tecnologia de secagem para obtenção de pós a partir de frutos, sobretudo daqueles que apresentam concentrações significativas de açúcares e ácidos orgânicos na sua composição. Dessa forma, problemas nas propriedades dos pós como pegajosidade (*stickiness*) e elevada higroscopicidade são modificados de forma que o produto final possa ser mais bem manuseado, armazenado, tenha maior durabilidade, ampliando assim as possibilidades de aplicações e utilizações (FERRARI et al., 2012).

Os diferentes processos de secagem, assim como a utilização de diferentes agentes encapsulantes levarão a produtos com propriedades físico-químicas diferentes, o que deve ser levado em consideração na escolha da técnica que melhor se adequa ao perfil de características do produto que se deseja obter. Os encapsulantes mais comumente utilizados associados a diferentes processos de secagem são a maltodextrina e o amido modificado. A maltodextrina é o material originado da hidrólise do amido e possui sabor e aroma neutros, baixa viscosidade, boa proteção contra oxidação, além de custo relativamente baixo. Já o amido modificado é o produto da hidrólise química parcial do amido, que dessa forma apresentará características tecnológicas mais desejáveis como boa solubilidade em água, baixa viscosidade e excelente retenção de material volátil de aroma após a secagem (AZEREDO, 2005).

Alguns dos objetivos da encapsulação de componentes dos alimentos são reduzir as interações destes com fatores ambientais, retardando alterações que podem resultar em perda de aroma, alteração da cor ou perda do valor nutricional; separar componentes reativos ou incompatíveis; mascarar componentes de sabor indesejável, promover melhor solubilidade do núcleo e melhor incorporação em sistemas secos, entre outros (AZEREDO, 2005; FAVARO-TRINDADE; PINHO; ROCHA 2008).

A escolha do encapsulante deve ser precedida por considerações a respeito da natureza do material que servirá de parede e das propriedades físicas e químicas do material a ser encapsulado com vistas a melhores resultados tecnológicos do produto final, dessa forma a porosidade e viscosidade, compatibilidade do núcleo com a parede, propriedades mecânicas, transição vítrea, fatores econômicos entre outras propriedades são fatores que podem determinar a escolha (RÉ, 2000; AZEREDO, 2005).

Na tentativa de obter produtos com melhores características após a secagem, vários materiais encapsulantes podem ser utilizados. Os carboidratos são os mais comuns, sendo que os mais empregados são a goma arábica, a maltodextrina, o amido modificado e polissacarídeos marinhos.

3.6.1 *Goma arábica*

Gomas são exsudados naturais de troncos, ramos ou frutos de árvores que ocorrem devido à cisão, injúrias (incidentais ou provocadas) ou infecção por fungos, são amplamente utilizadas nas indústrias alimentícias, farmacêuticas, cosméticas, dentre outras (CORNELSEN et al., 2015). São polissacarídeos considerados como hidrocolóides (WILLIAMS; PHILLIPS, 2000). A mais utilizada é a goma arábica (GA), também conhecida como goma acácia, é um exsudato obtido do tronco e dos galhos de árvores do gênero *Acacia senegal* var. *senegal.* e *Acacia seyal*. O amplo uso de GA é devido à sua alta solubilidade e baixa viscosidade em comparação com outros polissacarídeos, é bom emulsionante e possui natureza não-tóxica (GRÖBL, et al., 2005). Outros tipos de goma podem ser usados como substituintes da GA após o estudo de suas propriedades físico-químicas e funcionalidades (TAHA et al., 2012).

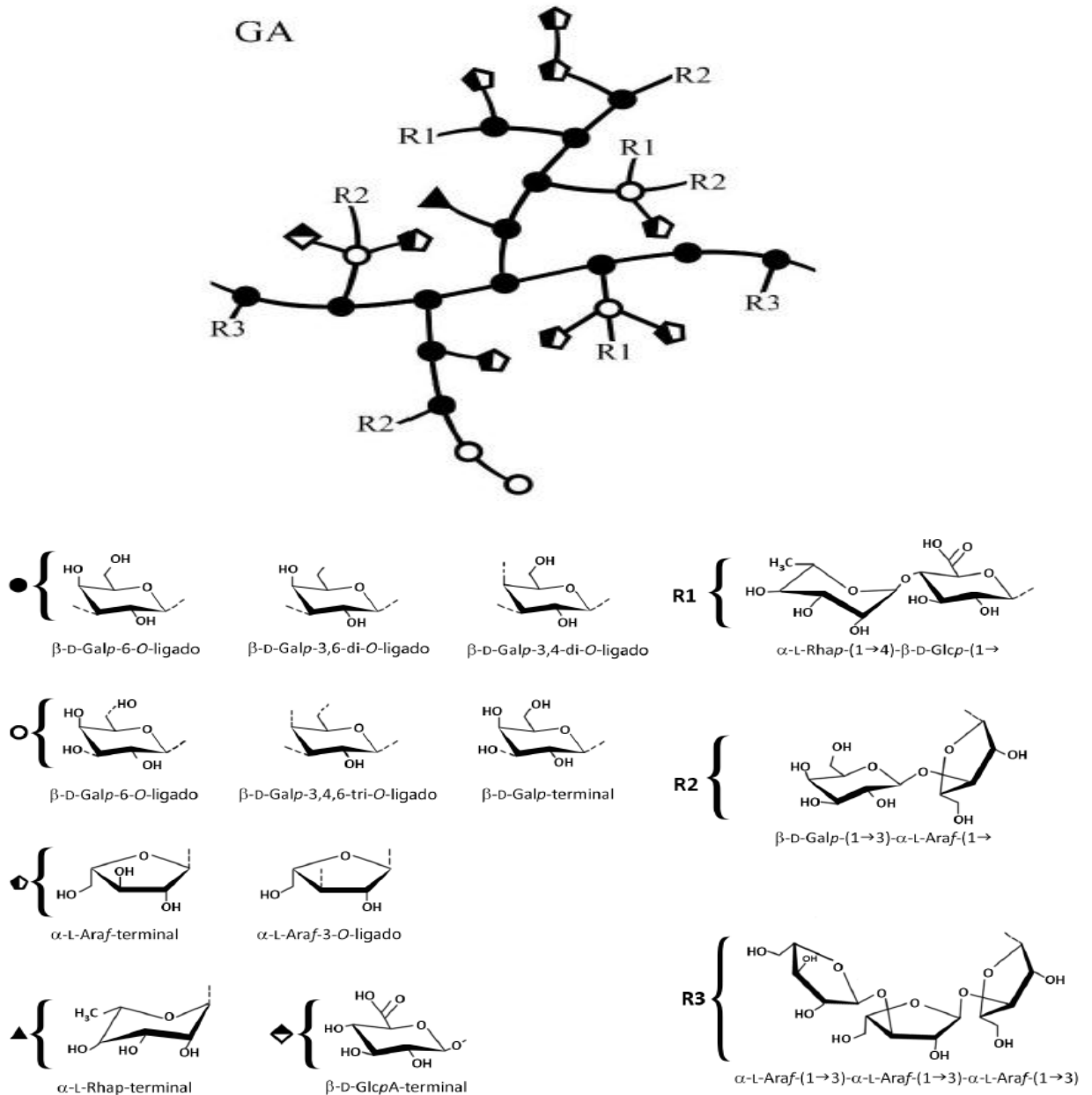
Em termos gerais, GA apresenta uma estrutura química complexa, que tem sido amplamente descrita, constituída majoritariamente por polissacarídeos ramificados e de caráter ácido, conjugados com uma menor fração polipeptídica (WILLIAMS; PHILLIPS, 2000; GREIN et al., 2013).

As gomas de acácia são hidrocolóides únicos na medida em que são solúveis em água. Eles são, principalmente, usados na indústria alimentícia para controlar e modificar as propriedades reológicas de sistemas alimentares aquosos. As gomas de acácia atuam como estabilizadores, formadores de filmes, espessantes, floculantes, agentes de suspensão e emulsionantes (DAOUB et al., 2016).

Os principais monossacarídeos presentes são na GA são: L-arabinose (Ara), D-galactose (Gal), D-manose (Man), L-Rhamnose (Rham), D-xilose (Xyl), L-fucose (Fuc) e D-

glucose (Glu). Além disso, existem dois açúcares ácidos, D-galacturônico (GalAc) e ácido D-glucurônico (GluAc). A Figura 3 demonstra a estrutura dos principais monossacarídeos presentes em GA (CORNELSEN et al., 2015).

Figura 3: Modelo geral proposto para a estrutura dos polissacarídeos presentes na goma de A. senegal (GA).



Fonte: CORNELSEN et al. (2015)

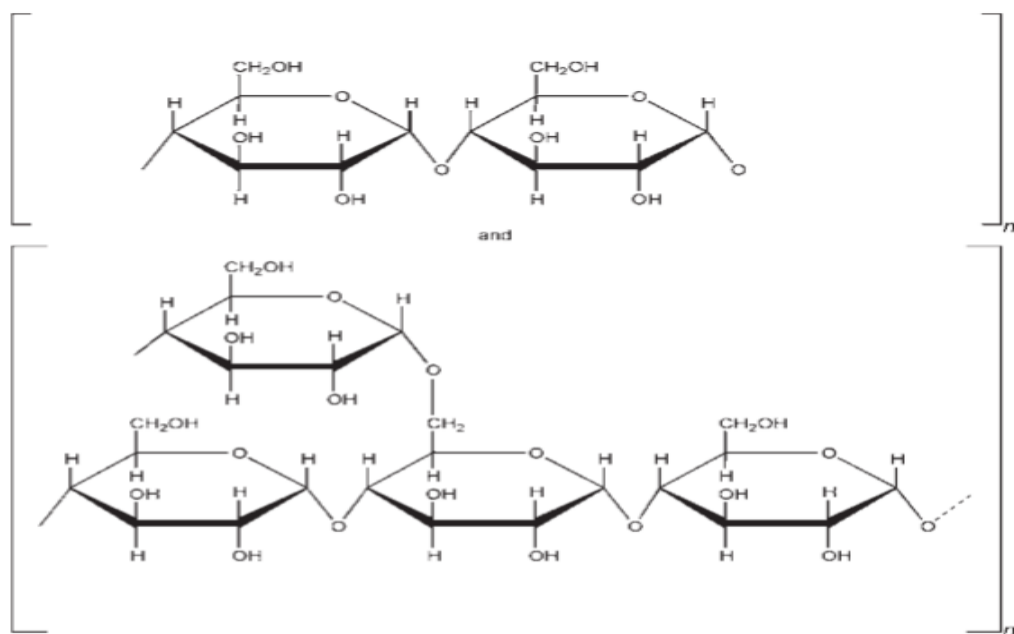
A goma arábica é um dos materiais de parede mais comuns utilizados na secagem por atomização devido à manifestação de muitas características desejáveis, tais como ser um bom agente de encapsulação (alta solubilidade, baixa viscosidade e boas propriedades emulsificantes), todavia seu alto custo e disponibilidade irregular têm motivado pesquisas

para matrizes de encapsulamento alternativas (RIGHETO; NETTO, 2005; FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010, CANO-HIGUITA et al., 2015).

3.6.2 Maltodextrina

A maltodextrina é um material originado da hidrólise do amido, sendo empregado como material de microencapsulação de ingredientes alimentícios. Possui características que lhe conferem vantagens na utilização, entre as quais um custo relativamente baixo, sabor e aroma neutros, baixa viscosidade e boa proteção contra oxidação. No entanto, o maior problema desse material de parede é a sua baixa capacidade de emulsionar compostos hidrofóbicos, o que aponta para uma utilização conjunta com outro encapsulante, a fim de complementar as propriedades emulsionantes desejadas, sendo a goma arábica uma boa indicação (AZEREDO, 2005; CARNEIRO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013). As maltodextrinas são frequentemente utilizadas como agentes encapsulantes na proteção de ingredientes sensíveis a fatores diversos, por apresentarem características que tornam o produto da secagem por atomização menos vulnerável a variáveis de processo, ambientais e de conservação, tornando-o mais estável e com menos alterações e maior aceitabilidade (RIGHETO; NETTO, 2005; TONON; BRABET; HUBIGER, 2010). A Figura 4 representa a estrutura molecular da maltodextrina.

Figura 4: Estrutura molecular da maltodextrina



Fonte: ROWE; SHESKEY; OWEN (2006)

Ferrari et al. (2012) utilizaram maltodextrina como agente carreador na secagem por atomização de polpa de amora preta (*Morus nigra L.*) e avaliaram a influência do agente carreador, obtendo partículas com diâmetros médios significativamente maiores à medida que a concentração de maltodextrina foi aumentada de 15% para 25%, fato este relacionado com o aumento da viscosidade da mistura alimentada no *spray dryer*.

Oliveira et al. (2013) estudaram a estabilidade de polpa de morango (*Fragaria vesca L.*) atomizada utilizando diferentes agentes carreadores (maltodextrina 5 DE, maltodextrina 10 DE, goma arábica e amido Capsul) pela variação nas características físico-químicas (umidade, densidade, solubilidade, teor de antocianinas e atividade antioxidante) e obtiveram variações de densidade aparente entre 0,40 e 0,52 g/cm³, umidade menor do que 2,5%. Todas as amostras foram altamente solúveis, a maltodextrina 5 DE e a goma arábica apresentaram menor higroscopicidade.

Informações a respeito da umidade, solubilidade, higroscopicidade, cor, além de espectros de absorção no infravermelho e imagens obtidas por microscopia de eletrônica varredura (MEV) são de grande relevância, uma vez que podem indicar alterações significativas no produto obtido de acordo com o método de secagem e material encapsulante empregado para a obtenção dos pós.

3.6.3 Amido modificado

O amido é a principal substância de reserva nas plantas superiores, fornecendo de 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem, podendo ser encontrado em plantas, em folhas, flores, frutas, sementes, diferentes tipos de hastes e raízes. O amido é usado por plantas como fonte de carbono e energia. A cadeia bioquímica responsável pela síntese de amido envolve moléculas de glicose produzidas em células de plantas por fotossíntese. O amido é formado nos cloroplastos de folhas verdes e amiloplastos, organelas responsáveis pela síntese da reserva de amido de cereais e tubérculos. A produção de amido no cloroplasto é diurna e é realizada rapidamente pela planta. Por outro lado, as reservas de amido produzidas por amiloplastos são depositadas durante vários dias, ou mesmo semanas. O amido é armazenado e ciclicamente mobilizado durante a germinação da semente, a maturação do fruto e o surgimento de tubérculos. A localização principal da síntese de amido e armazenamento em cereais é o endosperma. As principais fontes de amido são cereais (40 a 90%), raízes (30 a 70%), tubérculos (65 a 85%), legumes (25 a 50%) e alguns frutos imaturos como bananas ou mangas, que contêm aproximadamente 70% de Amido em peso seco. O padrão de

acumulação de grânulos de amido em cada planta de tecido, forma, tamanho, estrutura e composição é exclusivo de cada espécie botânica (FRANCO et al., 2006; ABBAS, 2010).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4), originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α (1 \rightarrow 4) e α (1 \rightarrow 6), formando uma estrutura ramificada. Embora a amilose seja definida como linear, atualmente se admite que algumas de suas moléculas possuem ramificações, semelhantes à amilopectina (DENARDIN; SILVA, 2009; FOOD INGREDIENTS BRASIL Nº 35 – 2015).

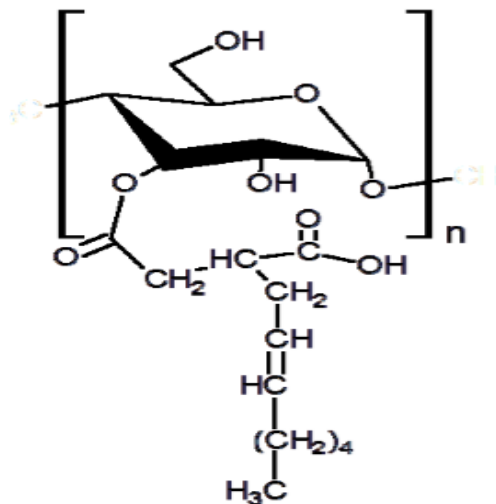
A maioria dos amidos nativos são limitados em sua aplicação direta porque são instáveis em relação às mudanças de temperatura, pH e forças de cisalhamento. Os amidos nativos mostram uma forte tendência de decomposição e retrogradação. Além disso, alguns grânulos de amido são inertes, insolúveis em água à temperatura ambiente, altamente resistentes à hidrólise enzimática e, conseqüentemente, sem propriedades funcionais. Os amidos nativos são frequentemente modificados para desenvolver propriedades específicas, tais como solubilidade, textura, adesão e tolerância às temperaturas de aquecimento utilizadas nos processos industriais. Vários métodos foram desenvolvidos para produzir amidos modificados com uma variedade de características e aplicações. Todas essas técnicas alteram o polímero de amido, tornando-o altamente flexível e alterando suas propriedades físico-químicas e atributos estruturais para aumentar seu valor para indústrias alimentares e não alimentares.

A produção de amidos modificados é uma alternativa que vem sendo desenvolvida há algum tempo com o objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos, e assim, aumentar a utilidade deste polímero nas aplicações industriais. Alterações nas propriedades tecnológicas dos amidos podem ser obtidas por processos físicos tais como tratamento térmico, exposição a radiações ou por processos químicos nos quais empregam-se reagentes específicos para alterar a estrutura das macromoléculas componentes do amido. Ainda há a possibilidade de serem empregados processos enzimáticos. A indústria de modificações de amido está em constante evolução. As modificações do amido incluem métodos físicos, químicos e enzimáticos. Os métodos físicos envolvem o uso de calor e umidade, e as modificações químicas introduzem grupos funcionais na molécula de amido usando reações de derivação tais como eterificação, esterificação, reticulação; ou envolvem reações de degradação, por exemplo, hidrólise e oxidação.

Rodríguez (2010) afirma que a modificação química de amidos nativos para melhorar seu desempenho em microencapsulação, uma técnica amplamente utilizada na indústria de alimentos, tem sido um tema de interesse por muitos anos. Afirma ainda que, a derivatização de amido com anidrido octenil succínico (OSA) interrompe a ligação de hidrogênio e reduz a retrogradação do amido, ao mesmo tempo que aumenta sua hidrofobicidade. Desta forma, os amidos modificados com OSA foram utilizados para estabilizar emulsões e encapsular ingredientes sensíveis (BHOSALE; SINGHAL, 2006; COVA et al., 2010).

Hi Cap® 100 e Capsul são dois amidos modificados com OSA, obtidos pela hidrólise parcial de amido de milho ceroso e depois derivatizados para conferir propriedades lipofílicas com anidrido OSA, comercialmente disponíveis, que são especialmente adequados para processos de encapsulamento. A diferença na estrutura é que o Hi Cap®100 é um amido de cadeia linear, enquanto o Capsul é um amido de cadeia ramificada. HI Cap® 100 tem maior solubilidade em água do que Capsul® (RATCHAHAT et al., 2010). A Figura 5, mostra a representação da estrutura química geral dos amidos modificados com OSA.

Figura 5: Representação da estrutura química geral dos amidos modificados com OSA.



Fonte: RODRÍGUEZ, S.D., et al (2013)

3.7 Propriedades antioxidantes do pó da polpa de murici liofilizada com diferentes carreadores

O consumo de frutas é reconhecidamente importante e recomendado por nutricionistas, médicos e pelo próprio senso comum. Sua importância advém do fato de as frutas serem produtos vegetais ricos em nutrientes, entre os quais vitaminas, sais minerais e

fibras. Mais recentemente, pesquisas científicas vêm mostrando que, além das substâncias já conhecidas, existe outro grupo igualmente importante. Os antioxidantes naturais fazem parte de um grupo de substâncias que tem despertado o interesse de pesquisadores em vários ramos científicos entre os quais a engenharia e a tecnologia de alimentos.

Os antioxidantes são substâncias naturais ou artificiais, capazes de reagir quimicamente com os denominados radicais livres, originários de processos oxidativos que ocorrem no interior das células decorrentes do metabolismo natural dos seres vivos. Ocorre que normalmente o organismo produz antioxidantes naturais capazes de neutralizar ou eliminar a atividade dos radicais livres, todavia quando essa capacidade é ultrapassada por algum motivo, doenças ou estresse, por exemplo, a quantidade de radicais livres em excesso passa a atacar a própria célula e suas estruturas essenciais como a membrana celular e o próprio DNA, levando a alterações e mutações que podem originar doenças graves como o câncer.

Dessa forma, a recomendação para o consumo de frutas se justifica por estes possuírem, em maior ou menor proporção, as substâncias antioxidantes na sua composição, entre as quais os carotenoides e os compostos fenólicos.

Os carotenoides são pigmentos naturais, não produzidos pelos animais, absorvidos pela alimentação, pertencentes ao grupo dos compostos de estrutura isoprenóides, amplamente distribuídos na natureza, ocorrendo em vegetais junto com a clorofila. Carotenos, são constituídos de carbono e hidrogênio, enquanto as xantofilas são derivadas dos carotenos via oxidação com formação de grupos hidroxila, metoxila, carboxila e cetona. Os carotenoides, em frutas, são formados em grande quantidade durante a maturação, os mais frequentes são α e β -caroteno e xantofilas. São compostos lipofílicos, moderadamente estáveis ao calor e podem perder cor por oxidação (principal causa da degradação) devido ao grande número de ligações duplas conjugadas e estabilidade dependente do meio, podendo ainda ser isomerizados por calor durante o processamento ou armazenamento, ácido ou luz. No tecido intacto, os pigmentos estão protegidos da oxidação, mas os danos físicos ao tecido ou durante o processo de extração aumentam a suscetibilidade à oxidação pela luz, calor e pro-oxidantes; a autooxidação intensa causa quebra dos pigmentos e descoloração. Os carotenoides apresentam propriedades antioxidantes e conhecidos por reagir com o oxigênio “singlete”, protegendo as células dos radicais livres e, portanto, desempenhando importante papel na prevenção de doenças como o câncer, catarata, arteriosclerose e retardo do processo de envelhecimento, mesmo que nem todos os carotenoides sejam antioxidantes (RIBEIRO; SERRAVALLI, 2007).

Os polifenóis são um dos mais numerosos grupos de metabólitos secundários derivados do metabolismo do chiquimato e dos poliacetatos, responsáveis pelas propriedades de cor, sabor, aroma e adstringência de alimentos vegetais e bebidas, além de conferir propriedades tecnológicas e funcionais aos alimentos (BOUDET, 2007; OKSANA et al., 2012). São mais de 8.000 compostos fenólicos já identificados (BOUDET, 2007), sendo os principais encontrados em alimentos pertencentes à classe dos flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos e taninos. Muitos são sólidos brancos e as moléculas de baixo peso molecular são voláteis (TOMAS-BARBERAN; ESPIN, 2001; PARR; BOLWELL, 2000).

De acordo com a localização nos vegetais (forma livre na fração solúvel da célula ou ligado a componentes da parede celular) e estrutura química das substâncias, podem ser solúveis (fenólicos simples, flavonoides e taninos de baixo a médio peso molecular não ligados a componentes da membrana) e insolúveis (taninos condensados, ácidos fenólicos e outros compostos fenólicos de baixo peso molecular ligados a polissacarídeos e proteínas da parede celular formando complexos insolúveis estáveis).

Nos últimos anos, muita atenção tem sido dada a esse grupo de substâncias devido ao grande número de pesquisas que afirmam que o consumo regular e em quantidades adequadas de vegetais, frutas e bebidas ricas em compostos fenólicos está associado à prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, tais com câncer, diabetes, doenças cardíacas, além de doenças neurodegenerativas como Alzheimer e Parkinson (BOUDET, 2007; GANGWAR et al., 2014). Pesquisas têm levantado número considerável de evidências químicas, bioquímicas, epidemiológicas e clínicas, indicando que os efeitos benéficos dos compostos fenólicos sobre a saúde humana se dão, principalmente, pela capacidade de reagir com espécies reativas do oxigênio e nitrogênio e, assim, atuar como antioxidantes (ABOUL-ENEIN; BERCZYNKI; KRUK, 2013).

Estresse oxidativo é definido como a produção de radicais livres (moléculas ou fragmentos de moléculas de elevado grau de reatividade, com um ou mais elétrons não pareados e orbitais atômicos ou moleculares) em quantidades que excedem a capacidade desintoxicante de antioxidantes enzimáticos e não-enzimáticos do organismo, causando danos aos tecidos. A exposição crônica ao estresse oxidativo, seja devido a fatores de risco genético ou ao contato frequente com fontes externas de radicais livres (tabagismo, poluentes, irradiação UV, dieta desbalanceada), é o evento inicial no desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (DANGLES, 2012; LAHMAR, 2017).

Os agentes oxidantes em sistemas biológicos variam de moléculas altamente reativas como os radicais hidroxil até espécies menos reativas de oxigênio e de nitrogênio que se

caracterizam por seu tempo de vida significativo e consequente capacidade de se difundir a partir do local de origem (HOLLMAN, 2001). Estes radicais são produtos naturais do metabolismo celular e são reconhecidos por desempenharem tantas ações benéficas como prejudiciais ao organismo.

O efeito prejudicial dos radicais livres ocorre em sistemas biológicos quando há superprodução de espécies oxidantes combinadas à deficiência de antioxidantes enzimáticos e não-enzimáticos, resultando em reações metabólicas que utilizam oxigênio e que causam distúrbios no equilíbrio das reações pró-oxidantes/antioxidantes nos organismos vivos (GANGWAR, 2014).

O excesso de radicais livres pode causar danos às moléculas de lipídeos e proteínas e DNA celulares, impedindo seu funcionamento normal, por isso o estresse oxidativo tem sido associado à incidência de diversas doenças, bem como ao processo de envelhecimento (DRÖGE, 2002).

Durante a produção, o processamento, a distribuição e o armazenamento podem ocorrer reações que envolvem microrganismos ou processos químicos. O efeito das substâncias antioxidantes consiste na inativação dos radicais livres, na complexação de íons metálicos ou na redução de hidroperóxidos para produtos incapazes de formar radicais livres e produtos de decomposição rançosos (ARAUJO, 2015).

A capacidade de alguns alimentos de origem vegetal em proporcionar benefícios sobre a saúde tem sido associada, principalmente, à ocorrência nesses alimentos de metabólitos secundários como compostos fenólicos, os quais exercem no organismo diversas atividades biológicas. Apesar desses compostos bioativos apresentarem baixa potência quando comparados à drogas farmacêuticas, quando ingeridos de forma regular e em quantidades suficientes como parte da dieta, podem proporcionar efeitos fisiológicos notáveis a longo prazo (ESPÍN; GARCÍA-CONESA; TOMÁS-BARBERÁN, 2007).

O efeito defensivo de antioxidantes presentes em frutas e hortaliças advindos de carotenoides e compostos fenólicos que são lipofílicos e hidrofílicos respectivamente, pode ser avaliado por várias metodologias. Entre as mais utilizadas está a que utiliza a captura do radical 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)-ABTS, a qual se presta a medir a atividade antioxidante de compostos de natureza hidrofílica e lipofílica, e a que se baseia na captura do radical orgânico 2,2-difenil-1-picril-hidrazil)-DPPH por antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorvância a 515 nm (BRAND-WILLIAMS et al., 1995; SANCHEZ-MORENO; LARRAURI, SAURA-CALIXTO, 1998).

A atividade antioxidante em frutas *in natura* é frequentemente tema de pesquisa, mais recentemente tem sido pesquisada em pós de frutos, em vista de que os pós apresentam maior facilidade de manuseio e transporte, menor volume, maior facilidade de embalagem, menor atividade de água, menor suscetibilidade ao ataque de microrganismos, maior estabilidade frente às reações degradativas e múltiplas aplicações alimentícias.

A tecnologia de secagem para a produção dos pós também pode variar, indo desde a secagem convencional, passando pela secagem a vácuo e secagem por atomização, podendo ainda ser empregada a liofilização, sendo ainda menos estudada a atividade antioxidante em pós de frutas obtidos por algum método de secagem com emprego de agentes encapsulantes. Alguns estudos já vêm demonstrando a liofilização como método de secagem eficiente, eficaz e adequado, tanto na produção de pós a partir de amostras biológicas como na preservação de compostos bioativos importantes no metabolismo orgânico, sobretudo no combate às espécies químicas reativas nocivas em excesso no organismo e capazes de provocar danos a células e tecidos, originando doenças graves.

A associação dessa técnica à encapsulação com materiais de parede como maltodextrina e amido modificado, isolados ou combinados, poderá reduzir ou preservar maior quantidade de carotenoides e compostos fenólicos que, devido à porosidade aumentada dos produtos obtidos somente pela liofilização, teriam maior exposição ao oxigênio por mais tempo e, por conseguinte, redução da atividade antioxidante desses compostos (PARK, 1987; CRAFT et al., 1993; RODRIGUEZ-AMAYA, 1993).

Desta forma, os objetivos deste trabalho foram estudar as propriedades antioxidantes do pó da polpa de murici encapsulada e liofilizada através determinação dos carotenoides totais e fenóis totais, bem como a avaliação da atividade antioxidante total pela captura dos radicais livres ABTS e DPPH, sem e com a utilização da maltodextrina e amido modificado como materiais de parede e verificar se houve oxidação relevante sobre os compostos avaliados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Obtenção e análises da polpa de murici

4.1.1 *Matéria-prima e preparo das amostras de polpa de murici*

Os frutos de murici (*Byrsonima crassifolia*), 50 kg, utilizados no preparo da polpa integral e das frações (bagaço e sobrenadante) foram colhidos diretamente nos locais de produção em áreas rurais localizadas na ilha de São Luís - MA, Município de São José de Ribamar – MA e Paço do Lumiar - MA, Brasil. Em seguida foram encaminhados para o Laboratório de Processamento de Frutos e Hortaliças do IFMA – Campus Maracaná, onde a polpa do murici foi produzida a partir de frutos maduros sadios, obedecida a seguinte ordem de processamento: coleta do fruto, seleção, higienização, despulpamento manual, peneiramento, embalagem em sacos de polietileno de 500 g, congelamento a -18 °C, armazenamento em câmara frigorífica a -25 °C.

4.1.2 *Obtenção do bagaço e do sobrenadante da polpa de murici*

O sobrenadante e bagaço da polpa de murici foram obtidos pela passagem da polpa do murici descongelada por uma tamisa (peneira) 35 MESH – ASTM 40, abertura em mm/ μ m 425, que separou a polpa inicial em duas frações, uma mais líquida (sobrenadante) e outra mais pastosa (bagaço), ambas com características gerais compatíveis com a polpa que lhe deu origem, porém com composição centesimal diferente

4.1.3 *Composição centesimal, análises físico-químicas da polpa, bagaço e sobrenadante do murici*

A composição centesimal, análises físico-químicas da polpa integral, do bagaço e do sobrenadante foram determinadas conforme Tabela 2.

TABELA 2: Composição centesimal, análises físico-químicas da polpa, bagaço e sobrenadante do murici.

PARÂMETRO FÍSICO	UNIDADE MEDIDA	TÉCNICA
Umidade	g/100 g	Instituto Adolfo Lutz, 2008
Lipídeos	g/100 g	Instituto Adolfo Lutz, 2008
Proteínas	g/100 g	Instituto Adolfo Lutz, 2008
Carboidratos	g/100 g	Instituto Adolfo Lutz, 2008
Sólidos Totais	g/100 g	Feito por diferença
Cinzas	g/100 g	Incineração em mufla a 550° C
Ácido Ascórbico	mg/100g	BENASSI; ANTUNES, 1988
Acidez Titulável	g/100 mg	AOAC, 1995
Açúcares Totais	g/100 g	AOAC, 1995
Sólidos Solúveis	° Brix	Refratômetro digital a 25° C
pH	-	pHmetro digital a 25° C
Polifenóis Extratíveis Totais	mg GAE/100 g	LARRAURI; RUPÉREZ; SAURACALISTO (1997) e OBANDA; OWUOR (1977)
Carotenóides Totais	µg/g	RODRIGUES-Amaya, 1999
Oxidação lipídica	mEq/kg	Bae et al. (1999) e Partenen (2008)
FRAP	µM sulfato ferroso/g fruto	Rufino et al. (2006)

GAE = Ácido Gálico Equivalente

FRAP = Poder Antioxidante de Redução do Ferro

4.1.4 Agentes carreadores

Os agentes carreadores utilizados foram maltodextrina DE 10 (MD) (Mor-Rex® 1910, Corn Products, Brasil) com umidade de 7,2% e o amido modificado (AM) (HI-CAP®100, Ingredion Brazil - Ingredientes Industriais Ltda.) com umidade de 5,2%. As umidades foram levadas em consideração quando da pesagem das diferentes proporções de encapsulante para o preparo da polpa para secagem.

4.2 Preparo das amostras

Foram realizados ensaios preliminares que são apresentados no Apêndice A, e, de acordo com os resultados obtidos, e por razões de disponibilidade de amostras, optou-se por continuar este trabalho apenas com a liofilização como método de secagem e encapsulação.

As quantidades de polpa e agente encapsulante foram previamente definidas de modo a resultar nos percentuais descritos na Tabela 3, que apresenta o planejamento experimental

dos ensaios de secagem, indicando a quantidade de sólidos totais provenientes da polpa e a quantidade de sólidos totais do agente encapsulante. A mistura foi homogeneizada em ultraturrax (IKA T25D, Staufen, Alemanha) por 5 minutos a 18000 rpm e, em seguida congelada a -38°C por 24 h e liofilizada em equipamento (L101, Liobrás, Brasil) com temperatura do condensador inferior a -40°C , por 48 h.

Tabela 3. Planejamento dos ensaios de secagem por liofilização com utilização isolada e combinada de encapsulantes.

Ensaio	Sólidos da polpa integral de murici (%)	Agente carreador (%)	
		Maltodextrina DE10	Amido modificado
Pura	100	0	0
MD25	75	25	0
MD50	50	50	0
MD75	25	75	0
AM25	75	0	25
AM50	50	0	50
AM75	25	0	75
MD/AM12.5	75	12,5	12,5
MD/AM25	50	25	25
MD/AM37.5	25	37,5	37,5

O material seco foi triturado utilizando almofariz, embalado em sacos de polietileno de baixa densidade, envolvidos em papel alumínio para evitar incidência de luz e estocados em dessecador à temperatura ambiente. Os pós assim obtidos foram caracterizados quanto ao teor de umidade, solubilidade, higroscopicidade, cor, espectroscopia no infravermelho (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

4.3 Propriedades Físicas

4.3.1 Umidade

A determinação do teor de umidade foi realizada empregando-se estufa a vácuo à temperatura de $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$, durante aproximadamente 6 horas e pressão de 100 mmHg, até obtenção de peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.3.2 Solubilidade

A solubilidade das microcápsulas foi determinada de acordo com o método descrito por Eastman e Moore (1984), modificado por Cano-Chauca et al. (2005), em que 1 g de amostra foi adicionada a 100 mL de água destilada e agitada por 5 minutos. A solução foi transferida para uma centrífuga a 3000×g por 5 minutos. Uma alíquota de 20 mL do sobrenadante foi transferida para placa de Petri previamente tarada tendo, em seguida, sido aquecida em estufa a 105°C por 5 horas. A porcentagem de solubilidade foi calculada por diferença de peso.

4.3.3 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada conforme a metodologia descrita por Cai e Corke (2000) e Fritzen-Freire et al. (2012), com modificações, em que aproximadamente 1 g de cada amostra foi colocada em recipiente hermético, contendo uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), umidade relativa de equilíbrio (URE) de 75,3% a 25°C, com pesagens diárias durante 5 dias, sendo a higroscopicidade expressa em umidade absorvida (ou perdida) por 100 g de massa seca da amostra (g/100 g).

4.3.4 Cor

A cor das amostras foi avaliada em colorímetro por refletância (modelo CR-5, Konica Minolta, Sensing Americas, Inc.) pelas medidas de transmitância e de claridade. Antes da realização da análise, o equipamento foi calibrado com as cores branco e preto padrão. Nesse sistema, L^* representa a claridade da cor, com variações de 0 = preto a 100 = branco; a^* pode ter valores positivos (vermelho) ou negativos (verde) e b^* pode ter valores positivos (amarelo) ou negativos (azul). A cor pode ser expressa em termos de L^* , a^* e b^* a partir dos quais poderão ser avaliados a intensidade cromática (C^*) e o ângulo de tonalidade cromática (h^*), dados por:

$$h^* = \text{tg}^{-1} (b^*/a^*) \quad (1)$$

$$C^* = [(a^{*2}) + (b^{*2})]^{1/2} \quad (2)$$

4.3.5 *Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)*

Os espectros vibracionais de absorção na região do infravermelho (IV) foram obtidos na faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1} em um espectrômetro da marca Shimadzu, modelo IR Prestige-21, com transformada de Fourier, disponível na Central Analítica de Química do Programa de pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Maranhão. A resolução foi de 4 cm^{-1} empregando-se pastilha de brometo de potássio (KBr), com alto grau de pureza como referência para zerar o equipamento. As pastilhas utilizadas na análise foram confeccionadas usando uma prensa, diluindo as amostras sólidas em KBr, na proporção de 1:100. Inicialmente foi realizado no equipamento um “background” com a pastilha de KBr, e posteriormente realizou-se a leitura das pastilhas de KBr contendo amostra.

4.3.6 *Microscopia de varredura eletrônica (MEV)*

A morfologia interna e externa, porosidade, presença de fissuras e tamanho médio das partículas de pós liofilizados foram avaliadas empregando-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em que as amostras foram fixadas em suportes metálicos de alumínio com fita de carbono dupla face. Os sistemas assim montados foram examinados em microscópio eletrônico de varredura marca PHENOM PRO X, modelo PHENOM, disponível no Núcleo de Combustíveis, Catálise e Ambiental – NCCA e Núcleo de Biodiesel (NCCA Biodiesel) da Universidade Federal do Maranhão, empregando tensão de 15 keV.

4.4 Avaliação de compostos bioativos e determinação da atividade antioxidante do pó liofilizado de murici

4.4.1 *Análise de compostos bioativos e oxidação lipídica*

As análises foram realizadas no Laboratório de Química do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) – Campus Maracanã e Laboratório de Frutos Tropicais, vinculado ao Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici – CE.

4.4.1.1 Carotenoides totais

Os carotenoides presentes no pó da polpa de murici encapsulada e liofilizada foram determinados pela metodologia proposta por Rodriguez-Amaya (1999), sendo essa análise realizada em ambiente com pouca iluminação para evitar a foto-oxidação dos pigmentos. As amostras foram diluídas em acetona refrigerada, filtradas a vácuo e maceradas por mais de duas vezes até perder a tonalidade amarela, para que fosse extraída a maior quantidade possível de carotenoides da matriz. Após a extração, foi usado éter de petróleo para a partição dos carotenoides, utilizando-se um funil de separação, sendo o extrato transferido para um balão volumétrico de 25 mL. A leitura das amostras foi realizada em espectrofotômetro UV visível JKI[®], modelo JK-UVS-752N em varredura de absorvância entre 350 e 700 nm. Para a construção da curva padrão foi utilizado o β -caroteno. Os resultados da determinação dos carotenoides totais foram expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$. A mensuração foi realizada com três repetições, sendo a média destes valores utilizada para análise estatística.

4.4.1.2 Polifenóis Extratíveis Totais

Foram tomadas alíquotas de 2 g de cada um dos pós, em seguida foram adicionados 10 mL de etanol 70% em cada amostra. Na sequência, as amostras foram centrifugadas por 20 minutos a 8.000 rpm, em centrífuga refrigerada (4°C) da marca Eppendorf, modelo 5810-R (Hamburgo, Alemanha). Os sobrenadantes foram separados e acondicionados em frascos âmbar identificados para posterior quantificação dos compostos fenólicos totais.

O conteúdo de compostos fenólicos totais dos pós foi determinado de acordo com o descrito por Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997); Obanda e Owuor (1977) com modificações, utilizando-se ácido gálico como padrão de referência. Alíquotas de 200 μL de cada extrato foram transferidos para tubos de ensaio e adicionados de 1,5 mL de água destilada, 100 μL do reagente Folin Ciocalteu 2 N e deixadas em repouso por 5 minutos. Em seguida foram adicionados 200 μL de carbonato de sódio a 20% (p/v). Os tubos foram deixados em repouso por 30 minutos ao abrigo da luz. As leituras foram realizadas a 765 nm em espectrofotômetro Femto, modelo 432C (São Paulo, SP, Brasil). O branco foi conduzido nas mesmas condições das amostras, porém utilizando etanol 70% no lugar do extrato. Foram preparadas as diluições da solução de ácido gálico para elaboração da curva padrão (0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,010 mg mL^{-1}). Os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido

gálico (GAE) g^{-1} de pó. A mensuração foi realizada com três repetições, sendo a média destes valores utilizada para a análise estatística.

4.4.1.3 Oxidação lipídica

A análise de oxidação lipídica foi realizada de acordo com a metodologia utilizada por Bae et al. (1999) e Partenen (2008), em que 0,5 g de cada amostra de pó foi adicionado de 5 mL de água e agitado (A). Alíquotas de 0,4 mL do material (A) foram adicionadas de 1,5 mL de iso-octano/isopropanol (2:1) v/v, agitadas e centrifugadas a 2400 rpm, resultando no material (B). Alíquotas de 0,4 mL de (B) foram adicionadas de 9,6 mL de clorofórmio/metanol (7:3) v/v (C). O conteúdo obtido em (C) foi adicionado de 0,05 mL de tiocianato de amônio e agitado por 10 s, em seguida foi adicionado de 0,05 mL de $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. O branco foi preparado com 0,4 mL de iso-octano/isopropanol (2:1) v/v mais 9,6 mL de clorofórmio/metanol (7:3) v/v e 0,05 mL tiocianato de amônio (agitado por 10 s) mais 0,05 mL da solução de $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. O equipamento foi zerado com solução de clorofórmio/metanol (7:3) e as leituras foram realizadas a 500 nm.

4.4.2 *Análise da atividade antioxidante total*

4.4.2.1 ABTS

A determinação da atividade antioxidante total (AAT) pela captura do radical ABTS foi realizada conforme metodologia descrita por Rufino et al. (2007). Do pó da polpa de murici encapsulada e liofilizada foram obtidos extratos em triplicata, em que 2 g de cada amostra foram pesadas em Becker de 100 mL, seguido da adição 40 mL de metanol 50%, homogeneização e repouso por 60 minutos à temperatura ambiente. A suspensão foi centrifugada a 15.000 rpm durante 15 minutos, com a transferência do sobrenadante para balão volumétrico de 100 mL. Ao resíduo da primeira extração foram adicionados 40 mL de acetona 70%, homogeneizado e deixado em repouso por 60 minutos à temperatura ambiente para, em seguida, ser novamente centrifugado a 15.000 rpm por 15 minutos, sendo o sobrenadante transferido para o balão volumétrico que já continha o primeiro sobrenadante, tendo o volume sido completado para 100 mL com água destilada.

A partir dos extratos obtidos, foram preparados, em tubos de ensaio, três diluições diferentes (10 μL , 20 μL , 30 μL), em triplicata. Em ambiente escuro foram transferidas

alíquotas de 30 μ L de cada diluição do extrato para os tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS^{•+} e homogeneizados. A leitura foi realizada a 734 nm após 6 minutos da mistura utilizando álcool etílico como branco, para calibrar o espectrofotômetro (UV-1800 SHIMADZU- UV ESPECTROPHOTOMETER). O resultado final foi expresso em μ M trolox / g de pó.

4.4.2.2 DPPH

A determinação da atividade antioxidante total (AAT) pela captura do radical ABTS, foi realizada conforme metodologia descrita por Rufino et al. (2007). Do pó da polpa de murici encapsulada e liofilizada foram obtidos extratos em triplicata, em que 2 g de cada amostra foram pesados em Becker de 100 mL, seguido da adição de 40 mL de metanol 50%, homogeneização e repouso por 60 minutos à temperatura ambiente. A suspensão foi centrifugada a 15.000 rpm durante 15 minutos, com a transferência do sobrenadante para balão volumétrico de 100 mL. Ao resíduo da primeira extração foi adicionado 40 mL de acetona 70%, homogeneizado e deixado em repouso por 60 minutos à temperatura ambiente para, em seguida, ser novamente centrifugado a 15.000 rpm por 15 minutos, sendo o sobrenadante transferido para o balão volumétrico que já continha o primeiro sobrenadante, tendo o volume sido completado para 100 mL com água destilada.

A partir das absorbâncias obtidas das diferentes diluições dos extratos, graficou-se a absorbância no eixo Y e a diluição (mg/L) no eixo X, sendo determinada a equação da reta ($y = -ax + b$; onde: $y = \text{Absorbância inicial do controle} / 2$; $x = EC_{50} \text{ (mg/L)}$). Para calcular a atividade antioxidante total (AAT), foi substituída a absorbância equivalente a 50% da concentração do DPPH pelo y e encontrado o resultado que corresponde à amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH (EC_{50}).

O resultado (mg/L) encontrado de EC_{50} foi dividido por 1.000 para ter o valor em g, o qual dividido pelo valor encontrado em g DPPH que levou ao resultado final (g pó / g DPPH = $(EC_{50} \text{ (mg/L)} / 1.000. 1 / \text{g DPPH})$).

4.5 Análise estatística

Foi utilizada a análise de variância ($p < 0,05$), e teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$) para verificar diferenças significativas entre amostras liofilizadas sem e com as diferentes formulações de encapsulantes, com relação aos teores de umidade, solubilidade,

higroscopicidade e cor. A análise estatística foi realizada utilizando o programa estatístico MATLAB[®], R2013a (MathWorks, Inc.)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química da polpa de murici integral, bagaço e sobrenadante

As características físico-químicas da polpa congelada, bagaço e sobrenadante são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição centesimal da polpa de murici: polpa integral, bagaço e sobrenadante

Parâmetro analisado	Polpa integral	Bagaço	Sobrenadante
Umidade (g/100g)	88,22 ± 0,15	81,16 ± 0,39	93,75 ± 0,15
Cinzas (g/100g)	0,30 ± 0,04	0,34 ± 0,02	0,27 ± 0,04
Lipídeos (g/100g)	1,45 ± 0,07	2,14 ± 0,08	0,56 ± 0,12
Proteínas (g/100g)	0,86 ± 0,08	1,56 ± 0,17	0,27 ± 0,01
Carboidratos (g/100g)	9,20 ± 0,15	14,79 ± 0,26	4,91 ± 0,47
Sólidos solúveis (°Brix) ¹	5,93 ± 0,06	6,60 ± 0,10	6,00 ± 0,00
Sólidos totais (g/100g)	11,77 ± 0,15	18,84 ± 0,39	6,24 ± 0,15
pH	3,44 ± 0,00	3,51 ± 0,00	3,35 ± 0,00
Acidez titulável em ácido cítrico (g/100g) ²	0,94 ± 0,00	1,15 ± 0,03	0,63 ± 0,00
Ratio ^(1/2)	6,30±0,06	5,73±0,13	9,52±0,00
Vitamina C (g/100 g)	3,53 ± 0,08	7,04 ± 0,00	1,46 ± 0,25
Polifenóis extratáveis totais (mg GAE/100 g)	25,29 ± 0,00	24,39 ± 0,00	12,14 ± 0,00
Carotenoides totais (µg/g)	8,30 ± 0,38	16,39 ± 0,70	0,63 ± 0,29
Oxidação lipídica (mEq/kg)	0,022 ± 0,00	0,022 ± 0,00	0,026 ± 0,00

Médias ± desvio padrão (n=3).

Os valores encontrados para a polpa de murici, bagaço e sobrenadante revelam a prevalência do teor de umidade na polpa integral e nas frações. Canuto et al. (2010) encontraram o valor de 92,8 g/100 g para umidade da polpa de murici, valor este que, se comparado ao presente trabalho, está mais próximo do obtido para o encontrado no extrato aquoso, mas não muito distante do valor encontrado para a polpa integral.

Guimarães e Silva (2008) apresentam valores de umidade para a polpa de murici *in natura* de 75,87 g/100 g. Valores diferentes podem estar relacionados aos meios de cultivo do fruto, local de produção e até à própria disponibilidade de água para o desenvolvimento dos frutos. O teor de umidade para os alimentos em geral é importante porque dá ideia dos riscos quanto à perecibilidade, além de influenciar na quantidade e reatividade de outros nutrientes presentes no alimento que podem ter seus teores reduzidos ou modificados com a umidade.

Nos resultados encontrados para a polpa integral, carboidratos, lipídeos, proteínas e vitamina C apresentaram valores capazes de suprir parte da demanda diária por esses nutrientes na alimentação de crianças e adultos, além de os valores encontrados para cinzas estarem relacionados à presença de minerais não quantificados, entre os quais cálcio, ferro e fósforo, os quais são significativamente importantes na nutrição humana.

Segundo o Instituto Adolfo Lutz (2008), a faixa de valores percentuais de sais minerais em frutas frescas é de 0,3 a 2,1%, que se tomado como referência, indica que os resultados encontrados no presente trabalho, para polpa, bagaço e sobrenadante, mostram que os minerais não quantificados estão presentes em quantidades ainda importantes para produtos já processados.

Quando se comparam os parâmetros avaliados da polpa integral com os do bagaço e sobrenadante, verifica-se que, além da umidade, ficam próximos os valores para cinzas, sólidos solúveis (°Brix) e pH, indicando que essas características não sofreram variações importantes com o fracionamento. Entretanto, nos teores de lipídios, proteínas e carboidratos, ocorreram variações importantes com o fracionamento da polpa integral. Esses constituintes tiveram os valores reduzidos no sobrenadante e aumentados no bagaço, quando comparados com os encontrados na polpa integral, fato este relacionado com a natureza química de tais componentes. Uns, por serem insolúveis em água se concentraram no bagaço, o qual concentra também o material fibroso da polpa. Outros, por terem mais afinidade com a água, se concentram mais no sobrenadante com maior teor de umidade.

O bagaço se apresentou com características de cor, cheiro e sabor altamente semelhante à polpa integral que lhe deu origem, além de ser mais consistente e com valores de todos os parâmetros analíticos avaliados, exceto umidade. De modo geral, todos os compostos presentes no bagaço se apresentaram maiores em relação aos valores da polpa original, fato este relacionado ao efeito da concentração de sólidos totais no bagaço, inclusive lipídios, carreando os componentes lipossolúveis da polpa integral.

Por outro lado, a redução dos valores avaliados no sobrenadante não significa necessariamente que tal fração não tenha importância nutricional, uma vez que esta preserva todos os atributos da polpa integral referentes a cor, cheiro, gosto e aspecto global, constituindo um alimento com características e aplicações similares ao produto que lhe deu origem.

Por se tratar de polpa de fruta e suas frações, a relação entre sólidos solúveis e acidez total (ratio) foi calculada e os valores apresentados na Tabela 4. Tal relação é utilizada para prever características como sabor, textura, e maturidade de frutas. A análise desse parâmetro

contribui, essencialmente, para a previsão do sabor característico de cada fruta e é um indicador sensorial e comercial de maturidade. Em produtos submetidos a controle de qualidade, essa característica deve ser constante.

Dados analíticos para o bagaço e o sobrenadante não estão disponíveis na literatura nem em órgãos de controle, pois o maior interesse está voltado para a polpa integral. Todavia, neste estudo procurou-se verificar a viabilidade de tais frações com vistas a dar mais aplicabilidade e amplitude de utilização da polpa, uma vez que ambas as frações podem ter aplicações distintas das comumente utilizadas para a polpa integral. O bagaço, por suas características mais próximas da polpa pode ter o mesmo tipo de aplicações que a polpa integral, enquanto o sobrenadante pode ser utilizado em bebidas clarificadas, ou mesmo ser destinado à secagem por atomização, contribuindo com sua carga nutritiva importante para o suprimento de necessidades orgânicas e possibilitando o desenvolvimento de novos produtos.

Os fenóis, carotenoides e vitamina C são substâncias com atividade biológica relacionada à inibição de atividade de radicais livres que provocam danos às células, e, por conseguinte várias moléstias graves. Assim, com o intuito de avaliar a prevalência dessas substâncias após o processo de secagem, procurou-se determinar seu conteúdo na forma de fenóis totais e carotenoides totais, bem como a atividade antioxidante e a oxidação lipídica na polpa integral, no bagaço e no sobrenadante. Os dados são apresentados na Tabela 4. As informações apresentadas correspondem à média de três repetições para cada análise e o respectivo desvio padrão.

Os valores experimentais encontrados para fenóis totais não foram muitos diferentes entre a polpa integral e o bagaço do murici, entretanto a concentração no sobrenadante foi a mais baixa entre as composições analisadas, o que pode estar relacionado à maior solubilidade de alguns dos compostos fenólicos, ou seja, os mais solúveis e mais simples com menor peso molecular e menor afinidade com lipídeos e proteínas, tendem a se concentrar mais no sobrenadante, enquanto que os de maior peso molecular e insolúveis se concentraram mais na polpa integral e no bagaço.

Abadio-Finco et al. (2012) encontraram na polpa de murici colhido no estado do Tocantins – Brasil, fenóis totais na concentração de 298,26 mg GAE/100 g do fruto em peso fresco e apontam que outros autores encontraram 2866 mg GAE/100 g, 2643 mg GAE/100 g em ameixa e pera, respectivamente. Deve ser considerado que não foram encontrados dados na literatura que se refiram à caracterização físico-química e centesimal do bagaço e do sobrenadante da polpa de murici.

Certamente, em relação a ensaios analíticos em frutas e legumes, alguns fatores inerentes à prática investigadora científica podem influenciar os resultados, tais como, ambientais, período de colheita, a variabilidade cultivar, a maturação dos frutos e os procedimentos de extração da polpa (ABADIO FICO et al., 2012; SOUZA et al., 2012).

Carotenoides totais foram avaliados conforme mostrados na Tabela 4 e a menor concentração foi encontrada no sobrenadante, podendo este fato estar relacionado com a natureza química hidrofóbica deste grupo de compostos orgânicos (ALVES et al., 2008). No bagaço houve uma elevação na concentração em relação ao conteúdo inicial encontrado na polpa integral, podendo este fato estar relacionado à concentração dos carotenoides nesta fração em vista da afinidade com lipídeos também em maior concentração.

Na determinação de compostos bioativos em polpas de frutos do cerrado brasileiro, especificamente para o murici fresco, Souza et al. (2012) encontraram uma concentração de 1,25 mg β -caroteno/100g, enquanto que Mariutti et al. (2013) encontraram 7,13 μ g/g de carotenoides totais, valores diferentes do aqui encontrado, devendo ser consideradas as diferenças regionais, climáticas, de solo e nutrição da planta, que interferem na composição final do fruto e seus derivados,

Os níveis de vitamina C encontrados na polpa integral, no bagaço e no sobrenadante, embora possam suprir parte da demanda diária do organismo humano por essa substância, estão muito aquém do estabelecido na Tabela de Composição de Alimentos – TACO (2006), que aponta 84 mg/100 g de parte comestível, e também abaixo do encontrado Abadio-Fico et al. (2012), que encontraram para o murici o quantitativo de 17,45 mg/100 g.

Valores menores do que se poderia esperar para vitamina C podem estar relacionados a possíveis influências no preparo da amostra, uma vez que a vitamina C se degrada com facilidade pela ação do oxigênio ou mesmo durante o processo de extração da polpa, devendo-se levar em conta também a metodologia empregada para realização da análise, que pode também diferenciar os resultados.

Os alimentos, por possuírem uma composição complexa, podem apresentar óleos e gorduras em sua composição. O murici apresenta uma quantidade significativa desses compostos e como existe a possibilidade de ocorrência de reações químicas durante o processamento e armazenamento de alimentos ricos em lipídeos, a oxidação e a hidrólise são hipóteses que não podem ser desconsideradas. A oxidação é a principal causa da deterioração de vários produtos biologicamente importantes, alterando diversas propriedades como sabor, aroma, textura e cor, funcionalidade e toxidez, não sendo menos importante dizer que a oxidação pode também afetar proteínas, vitaminas e pigmentos mesmo que secundariamente,

tendo como origem e causa principal a presença do oxigênio atmosférico, quando elétrons são removidos de um átomo ou grupo de átomos com a correspondente adição de elétrons um átomo ou grupo de átomos (ARAUJO, 2015), razão suficiente para avaliação da oxidação lipídica.

Os valores experimentais de oxidação lipídica apresentados na Tabela 4, mostram que praticamente não houve variação desse parâmetro da polpa integral e em suas frações, ou seja, a degradação oxidativa sofrida é a mesma no bagaço e no sobrenadante, restando ser verificado se tais níveis de oxidação lipídica serão mantidos ou aumentados quando a polpa for submetida a diferentes processos e se ocorre efeito significativo sobre os níveis dos compostos bioativos e atividade antioxidante dos pós produzidos.

O Poder Antioxidante de Redução do Ferro – FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), que visa medir o poder antioxidante de compostos enzimáticos e não-enzimáticos presentes, entre outras fontes, nos alimentos, foi aplicado para avaliar a atividade antioxidante da polpa integral de murici, do bagaço e do sobrenadante, tendo sido encontrados os valores experimentais mostrados na Tabela 4. Esses dados verifica-se uma leve redução da atividade antioxidante no bagaço e no sobrenadante em relação à polpa integral, ao que se atribui de forma global à melhor estabilidade das substâncias antioxidantes da polpa, além de as concentrações das substâncias a que se atribuem considerável atividade antioxidante (fenóis totais e carotenoides totais) terem apresentado praticamente os mesmos níveis na polpa integral e no bagaço (SANTOS et al., 2013; DAWIDOWICZ, WIANOWSKA, OLSZOWY, 2012; ALVES et al., 2010; DUARTE-ALMEIDA et al., 2006; THAIPONG, 2006; KUSKOSKI et al., 2005).

5.2 Propriedades Físicas do pó da polpa de murici

Os resultados experimentais encontrados para umidade, solubilidade e higroscopicidade para os pós da polpa de murici são apresentados na Tabela 5, acompanhados pela análise estatística. As análises estatísticas são mostradas no Apêndice B.

Tabela 5 - Valores médios para umidade, solubilidade, higroscopicidade e parâmetros de cor das amostras encapsuladas e liofilizadas do murici

Amostra	Umidade (%b.s.)	Solubilidade (%)	Higroscopicidade (%)	a*	b*	L*	C*	h*
Pura	2,96 ± 0,053 ^e	36,50 ± 0,500 ^f	15,10 ± 0,9 ^{bc}	8,650 ± 0,030 ^a	47,740 ± 0,057 ^a	68,310 ± 0,017 ^j	48,520 ± 0,061 ^a	79,730 ± 0,025 ^j
MD25	8,80 ± 0,461 ^b	55,25 ± 1,143 ^d	14,20 ± 0,7 ^{bc}	6,800 ± 0,006 ^c	41,920 ± 0,006 ^b	73,450 ± 0,012 ^g	42,470 ± 0,006 ^b	80,790 ± 0,006 ^h
MD50	1,77 ± 0,139 ^f	63,50 ± 0,500 ^c	12,00 ± 0,1 ^c	4,290 ± 0,006 ^e	39,930 ± 0,035 ^e	76,640 ± 0,017 ^f	40,160 ± 0,035 ^e	83,870 ± 0,006 ^f
MD75	3,51 ± 0,122 ^e	86,70 ± 0,732 ^a	15,70 ± 1,2 ^b	1,970 ± 0,015 ^h	24,520 ± 0,064 ^h	84,250 ± 0,040 ^c	24,600 ± 0,064 ^h	85,420 ± 0,035 ^c
AM25	9,66 ± 0,168 ^a	56,75 ± 0,580 ^d	16,70 ± 1,0 ^{ab}	6,360 ± 0,000 ^d	40,630 ± 0,032 ^d	73,060 ± 0,006 ^h	41,130 ± 0,026 ^d	81,100 ± 0,006 ^g
AM50	6,32 ± 0,535 ^c	66,85 ± 0,638 ^c	18,00 ± 1,0 ^a	3,180 ± 0,017 ^f	33,520 ± 0,006 ^f	79,030 ± 0,015 ^e	33,670 ± 0,006 ^f	84,590 ± 0,021 ^e
AM75	4,41 ± 0,279 ^d	84,45 ± 0,208 ^{ab}	19,50 ± 0,4 ^a	0,870 ± 0,023 ^j	24,290 ± 0,012 ⁱ	85,440 ± 0,017 ^a	24,300 ± 0,012 ⁱ	87,940 ± 0,052 ^a
MD/AM12.5	10,20 ± 0,147 ^a	50,55 ± 1,473 ^e	16,20 ± 1,2 ^{ab}	7,210 ± 0,017 ^b	41,370 ± 0,030 ^c	70,200 ± 0,036 ⁱ	42,000 ± 0,035 ^c	80,130 ± 0,020 ⁱ
MD/AM25	5,85 ± 0,168 ^c	80,55 ± 3,323 ^b	16,30 ± 2,2 ^b	2,600 ± 0,026 ^g	29,500 ± 0,052 ^g	82,000 ± 0,035 ^d	29,610 ± 0,055 ^g	84,950 ± 0,046 ^d
MD/AM37.5	4,84 ± 0,124 ^d	84,60 ± 0,433 ^{ab}	15,70 ± 0,7 ^b	1,660 ± 0,000 ⁱ	23,020 ± 0,012 ^j	85,040 ± 0,006 ^b	23,080 ± 0,012 ^j	85,870 ± 0,006 ^b

Média ± desvio padrão (n=3). Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey.

5.2.1 Umidade

Os valores de umidade encontrados para as amostras da polpa integral de murici encapsuladas e liofilizadas, empregando-se somente maltodextrina como agente encapsulante (amostras MD25, MD50, MD75), apresentaram entre si diferenças significativas na comparação das médias, exceto a amostra MD75 que não apresentou diferença significativa na comparação com a média da amostra liofilizada sem a adição de encapsulantes (Pura). Da mesma forma, as amostras liofilizadas em que foi empregado somente o amido modificado (Hi-Cap[®]100) como agente encapsulante (amostras AM25, AM50, AM75) apresentaram diferenças significativas na comparação das médias, inclusive com a amostra liofilizada sem adição de encapsulantes, situação equivalente aos valores obtidos para amostras em que se utilizou a mistura da maltodextrina e amido modificado como agente encapsulante (amostras MD/AM12,5, MD/AM25, MD/AM37,5).

No conjunto, os ensaios de secagem realizados, a umidade variou entre 1,77% e 10,20%. Há de ser considerado que existem diferenças na composição de cada amostra, de acordo com a Tabela 5, e se verifica uma tendência para a redução da umidade com o aumento da concentração do encapsulante. Somente a amostra MD50, em que a maltodextrina foi usada como encapsulante, ficou com valor de umidade menor que a amostra liofilizada pura, de onde se verifica que a presença dos encapsulantes gerou um incremento nos valores de umidade dos ensaios realizados. O aumento no valor da umidade nas amostras encapsuladas em relação à amostra liofilizada sem o emprego de materiais de parede pode estar relacionado à maior interação dos encapsulantes com a água e ao fato de que a polpa pura de murici apresentou um teor de lipídios (Tabela 4) maior do que a maioria das frutas (TACO, 2011).

Os ensaios realizados com o emprego da maltodextrina como encapsulante apresentaram menores valores para umidade, enquanto que nos ensaios em que foi utilizado o amido modificado os valores para umidade foram maiores, seja na utilização isolada ou combinada, indicando que o amido modificado (Hi-Cap[®]100) tende a reter mais umidade.

Podem ser encontrados na literatura valores de umidade em polpas de frutas liofilizadas sem emprego de encapsulantes variando entre 3,14% e 10,67% em estudos realizados com manga e açaí (MENEZES et al., 2008; MENEZES et al., 2009; MOREIRA et al., 2013). ORDÓÑEZ (2005) aponta que valores de umidade entre 2% e 8% estariam relacionados ao conteúdo de água mais fortemente ligado e que apresenta maior grau de

dificuldade para ser eliminado, o que de alguma forma não é totalmente indesejável, em vista de que algumas propriedades importantes dos alimentos em pó, para continuarem se manifestando, requerem a presença da água mesmo que em baixos níveis. Já quando a umidade é reduzida a níveis críticos, reações indesejáveis, como oxidação de lipídeos podem ocorrer, tornando o produto impróprio para consumo ou para a finalidade desejada (DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010).

Em geral, os pós obtidos através da secagem por liofilização apresentam baixos valores de umidade, o que contribui para conservação e manutenção das suas características físicas, físico-químicas e nutricionais por mais tempo sem os efeitos de processos degradativos indesejáveis (CANO-HIGUITA et al., 2015; MADENE et al., 2006). Nos ensaios realizados, a maioria das amostras apresentaram umidade inferior a 5%, o que é relevante quando o limite máximo de umidade estabelecido para frutos liofilizados em pó é 5% conforme a Resolução CNNPPA nº 12/1978 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA.

5.2.2 Solubilidade

Os valores percentuais médios para solubilidade encontrados para os ensaios realizados com a polpa de murici encapsulada e liofilizada são apresentados na Tabela 5, onde se verifica que estão entre 36,50% e 86,70%. Verifica-se que houve aumento da solubilidade nas amostras com encapsulantes, em relação à amostra liofilizada sem adição dos mesmos. Os resultados obtidos apresentam relação direta entre o aumento da concentração do encapsulante e o aumento da solubilidade, seja na forma isolada ou na combinação da maltodextrina com o amido modificado (Hi-Cap[®]100). A comparação das médias pelo teste de Tukey a 95% de confiança, mostra que existe diferença significativa entre os valores encontrados, evidenciando a modificação desta propriedade quando o encapsulante está presente, tal qual foi verificado por Oliveira et al. (2013) quando da utilização de diferentes agentes carreadores como auxiliar na secagem da polpa de morango. É importante ressaltar que, quanto maior a solubilidade, maiores as possibilidades de aplicações dos pós como ingredientes em alimentos de preparo rápido.

A baixa solubilidade apresentada pela polpa de murici liofilizada sem adição de encapsulantes pode estar relacionada à presença de conteúdo proteico e lipídico na polpa integral, uma vez que os lipídios apresentam grupos químicos hidrofóbicos (ARAÚJO, 2015), enquanto a solubilidade das proteínas em água depende de fatores como pH, força iônica, e

temperatura (RIBEIRO e SERAVALLI, 2007). Estes grupos químicos, uma vez preservados durante a liofilização, geram reflexos na menor capacidade de reidratação, sendo este um aspecto negativo quando frutos que os apresentam são liofilizados na ausência de materiais encapsulantes capazes de auxiliar na interação com água.

5.2.3 *Higroscopicidade*

Os valores médios da higroscopicidade para as amostras de polpa de murici encapsulada e liofilizada são apresentados na Tabela 5. Tomando como referência a amostra em que a polpa integral foi liofilizada sem utilização de encapsulante (Pura), verifica-se que quando somente a maltodextrina foi utilizada como agente carreador (MD25, MD50, MD75), menores valores de higroscopicidade foram encontrados. Por outro lado, um comportamento oposto foi observado quando foram empregados o amido modificado Hi-Cap[®]100, isolado (AM25, AM50, AM75) ou associado à maltodextrina (MD/AM12,5, MD/AM25, MD/AM37,5). Esse comportamento indica que o amido modificado atuou elevando a higroscopicidade em qualquer das quantidades testadas, enquanto a maltodextrina atuou reduzindo a higroscopicidade dos pós produzidos. De acordo com Valenzuela e Aguilera (2014), a maltodextrina melhora a qualidade de produtos desidratados, diminui a pegajosidade e aumenta a estabilidade dos produtos, e tal funcionalidade pode ser atribuída à habilidade da maltodextrina para absorver água, formando uma barreira protetora contra umidade na superfície de partículas higroscópicas e com isso aumentar a temperatura de transição vítrea.

Oliveira, Costa e Afonso (2014), ao estudarem o comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada, verificaram que ao adicionarem 17% de maltodextrina (DE 20) reduziram a higroscopicidade de 12,93% na polpa integral para 8,51%. Da mesma forma Cai e Corke (2000), ao estudarem as propriedades físicas dos pigmentos de betacianinas, observaram que a higroscopicidade de pós obtidos por secagem em spray dryer com maltodextrina DE 15 em diferentes temperaturas de secagem variou entre 45,4 g/100 g a 49,2 g/100 g, significativamente menor do que a higroscopicidade do pó de betacianina sem adição de maltodextrina que foi 118,3 g/100 g, mostrando que a maltodextrina usada como veículo e agente de revestimento ocasionou a redução da higroscopicidade.

Yamashita et al. (2017), ao microencapsularem antocianinas da casca de amora preta, relataram redução da higroscopicidade com a utilização da maltodextrina como agente carreador, principalmente indicando melhores resultados com maltodextrina DE 10 em relação a DE 20. Os autores justificaram que quanto mais alta a DE, mais hidrolisada será a

maltodextrina, a qual apresentará mais grupos hidrofílicos capazes de absorver água. Além disso, esses autores afirmaram que a baixa higroscopicidade de pós produzidos por liofilização pode ser explicada pelo maior tamanho das partículas e menor superfície de contato para absorção de água da atmosfera, em comparação com produtos obtidos pela secagem por atomização, de menor tamanho de partículas e maior superfície de contato com a umidade do ar.

O aumento de concentração do agente encapsulante, no caso da maltodextrina, proporcionou uma redução da higroscopicidade, enquanto que no caso do amido modificado, provocou aumento. Isso pode ser explicado pelas características dos agentes carreadores utilizados que, no caso da maltodextrina, apresenta menor número de grupos hidroxila capazes de se ligarem com a água do ar atmosférico (RIBEIRO; SERRAVALLI, 2007; DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010), sendo que a redução da higroscopicidade leva também à diminuição de pegajosidade em alimentos ricos em açúcares e ácidos, resultando em maior tempo de vida de prateleira.

5.2.4 *Parâmetros de cor*

Os resultados encontrados na análise de cor dos pós encapsulados e liofilizados são apresentados na Tabela 5.

Tomando como referência a amostra em que a polpa integral de murici foi liofilizada sem a utilização de agentes encapsulantes (Pura), os dados obtidos experimentalmente mostram valores positivos e com diferenças significativas na comparação das médias com limite de confiança a 95% pelo teste de Tukey para todas as coordenadas cromáticas avaliadas. As coordenadas cromáticas a^* e b^* , pelas quais se calcula C^* (índice de saturação da cor), apresentaram redução nos valores obtidos com o aumento da concentração do encapsulante, seja nas amostras onde a maltodextrina ou o amido modificado (Hi-Cap[®]100) foram utilizados isoladamente ou na combinação em proporções iguais desses dois encapsulantes, indicando que nos pós produzidos com o emprego de encapsulantes a cor se apresenta menos saturada.

As coordenadas L^* (claridade) e h^* (ângulo de tonalidade cromática) apresentaram aumento nos valores experimentais obtidos em relação à amostra liofilizada sem a adição de encapsulantes. Todas as amostras avaliadas se encontram no primeiro quadrante do sólido de cor no sistema CIELAB, onde predominam as cores vermelho, laranja e amarelo, considerando que os valores experimentais de a^* e b^* são positivos para todas as mostras

avaliadas. Assim, pelos dados obtidos, verifica-se que a cor predominante é o amarelo, tendo em vista que os ângulos de tonalidade cromática (h^*) para todas as amostras variaram entre 79,30 a 87,94, zona angular predominantemente amarela do diagrama de cromaticidade do sistema CIELAB (RAMOS; GOMIDE, 2007).

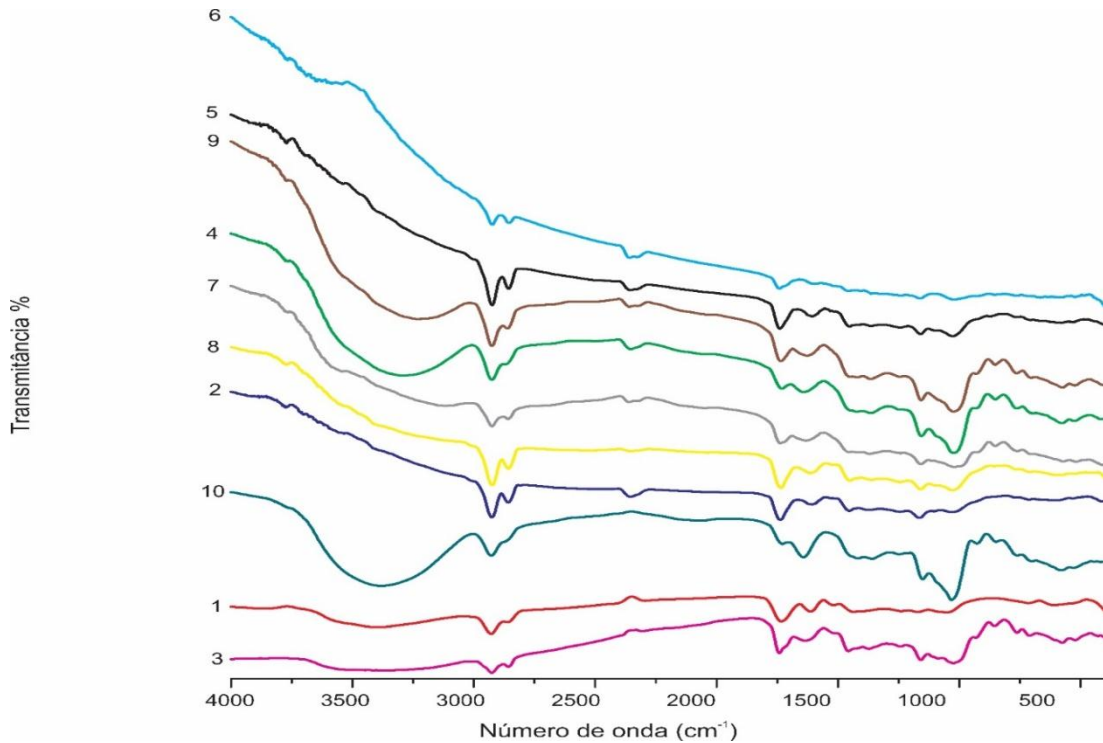
Deve ainda ser considerado que os valores experimentais obtidos para a claridade (L^*) variaram de 68,31 a 85,44 e que estes dados indicam cores claras para os pós obtidos. Todos os ensaios onde foram utilizados encapsulantes, tanto na forma isolada como combinada, apresentaram aumento em relação ao ensaio no qual somente a polpa integral do murici foi liofilizada (Pura). Além disso, o aumento na concentração do encapsulante provocou aumento no valor de L^* nas amostras, fato este relacionado à cor branca da maltodextrina e do amido modificados utilizados no processo (TONON et al., 2009).

A saturação da cor, C^* , apresentou valores experimentais que variaram entre 23,08 e 48,52, numa escala de variação total de 0 a 60 na representação bidimensional do diagrama de cromaticidade do sistema CIELAB e corresponde ao comprimento da projeção da localização da cor no plano (a^* , b^*), significando que houve diminuição da intensidade cromática com o emprego dos encapsulantes, seja a maltodextrina, seja o amido modificado ou mesmo a combinação dos dois. Os dados também revelam que há uma relação direta entre o aumento da concentração do encapsulante e a diminuição da intensidade cromática, não sendo plenamente definido qual dos encapsulantes, ou a combinação deles, provocou maior diminuição da cromaticidade, tendo em vista que os dois apresentam cor branca.

5.2.5 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

Nas análises realizadas pela técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), buscou-se avaliar interações dos encapsulantes com a polpa do murici e possíveis modificações físico-químicas dos pós produzidos. Foram empregadas diferentes concentrações dos agentes encapsulantes, de acordo com os tratamentos indicados na Tabela 5. A Figura 6 apresenta os espectros de infravermelho da polpa integral de murici encapsulada com diferentes proporções da maltodextrina (2, 3, 4, respectivamente MD25, MD50 e MD75), amido modificado (5, 6, 7, respectivamente AM25, AM50 e AM75), associação maltodextrina/amido modificado (8, 9, 10, respectivamente MD/AM12,5, MD/AM25 e MD/AM37,5) e, para efeito de comparação, também é mostrado o espectro de infravermelho da polpa integral de murici sem a adição de encapsulantes (1).

Figura 6 - Espectros do infravermelho da polpa de murici liofilizada sem encapsulante e com encapsulantes: 1) polpa integral pura (0% de encapsulante); 2) polpa integral + 25% maltodextrina 3) polpa integral + 50% maltodextrina; 4) polpa integral + 75% maltodextrina; 5) polpa integral + 25% amido modificado; 6) polpa integral + 50% de amido modificado; 7) polpa integral + 75% de amido modificado; 8) polpa integral + 12,5% maltodextrina + 12,5% de amido modificado; 9) polpa integral + 25% maltodextrina + 25 % de amido modificado; 10) polpa integral + 37,5% maltodextrina + 37,5% de amido modificado.



No espectro obtido para a polpa pura (1) é possível verificar a presença de estiramentos vibracionais característicos dos principais grupos químicos presentes, tais como metil (C-H) a 2930 cm^{-1} ; (C=O) a 1740 cm^{-1} , (C=C) a $1680 - 1620\text{ cm}^{-1}$ e C=C-H a $1615 - 1580$, que é típico de anéis aromáticos (Coates, 2000).

Nos ensaios em que a polpa integral foi adicionada dos diferentes encapsulantes (maltodextrina, amido modificado, associação maltodextrina/amido modificado) observou-se que, com o aumento da concentração do encapsulante, ocorreu a manifestação de estiramentos vibracionais de grupos químicos característicos de carboidratos a 1150 cm^{-1} : grupo alquil-éter (C-O-C), cujas bandas em $1150 - 1050\text{ cm}^{-1}$ correspondem a vibrações de anel de açúcares presentes nos encapsulantes (SOUZA et al., 2015).

Pelos espectros obtidos, além das diferenças dos grupos químicos da polpa integral liofilizada sem encapsulantes e com encapsulantes, verifica-se também que a concentração do encapsulante, em geral, aumentou a transmitância das amostras, provocando pequenos deslocamentos nas bandas espectrais dos grupos químicos constituintes principais das substâncias presentes nas amostras. Além disso, especificamente nos ensaios onde foi

empregado encapsulante, isolado ou combinado, o espectro no infravermelho mostrou grupos químicos característicos de carboidratos, sem que se possa, num primeiro momento distinguir se é maltodextrina ou amido modificado ou a mistura de ambos.

5.2.6 *Morfologia das partículas*

As Figuras 7 a 9 mostram as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das partículas produzidas pela liofilização da polpa integral de murici pura, com maltodextrina a 25%, 50% e 75% (Figura 7), com amido modificado a 25%, 50% e 75% (Figura 8) e com mistura maltodextrina/amido modificado a 12,5/12,5%, 25/25% e 37,5/37,5% (Figura 9). Observa-se que, em geral, os pós produzidos pela encapsulação e liofilização da polpa integral de murici, apresentaram microestruturas de aspecto amorfo, irregular, formato indefinido, com micro poros de tamanhos variados em forma de flocos quebradiços, características próprias de produtos secos por liofilização (CANO-HIGUITA; MALACRIDA; TELIS, 2015; CEBALOS; GIRALDO; ORREGO, 2008).

Figura 7 – Micrografias das amostras liofilizadas aumentadas 1000 vezes(esquerda) e 3000 vezes (direita): polpa integral pura; MD25: polpa integral + 25% maltodextrina; MD50: polpa integral + 50% maltodextrina; MD75: polpa integral + 75% maltodextrina.

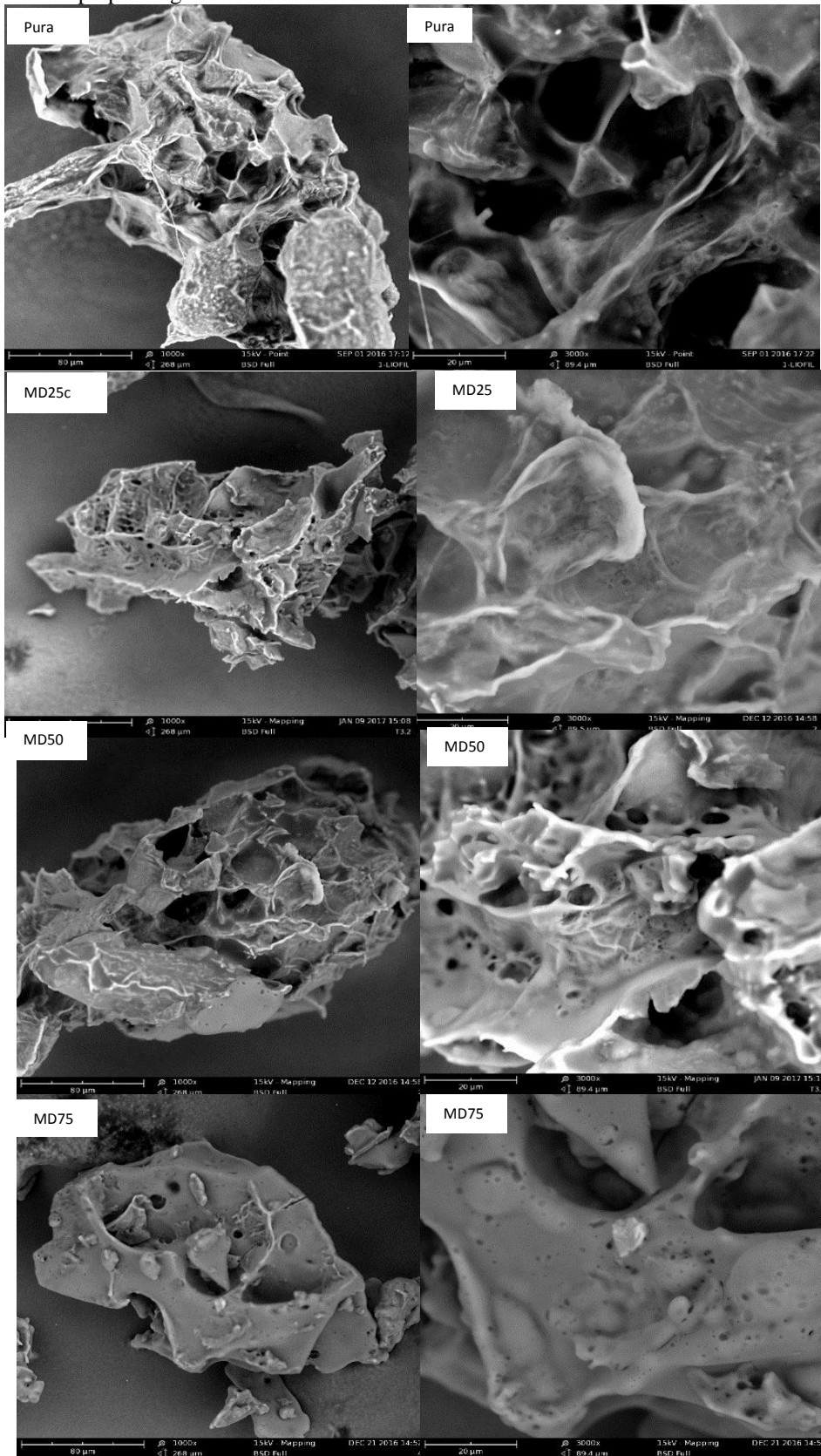


Figura 8 – Micrografias das amostras liofilizadas aumentadas 1000 vezes(esquerda) e 3000 vezes (direita): polpa integral pura; AM25: polpa integral + 25% amido modificado; AM50: polpa integral + 50% amido modificado; AM75: polpa integral + 75% amido modificado.

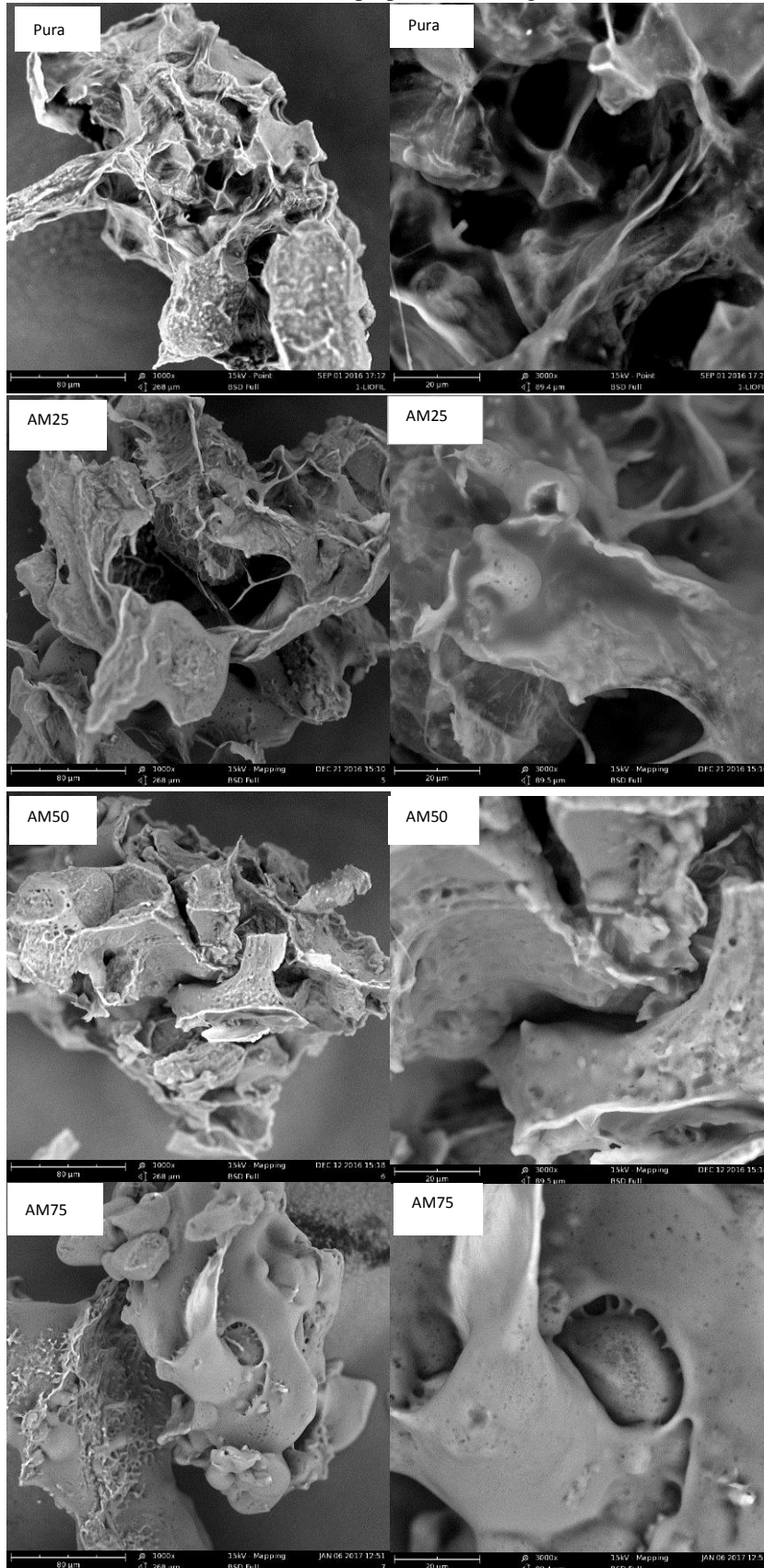
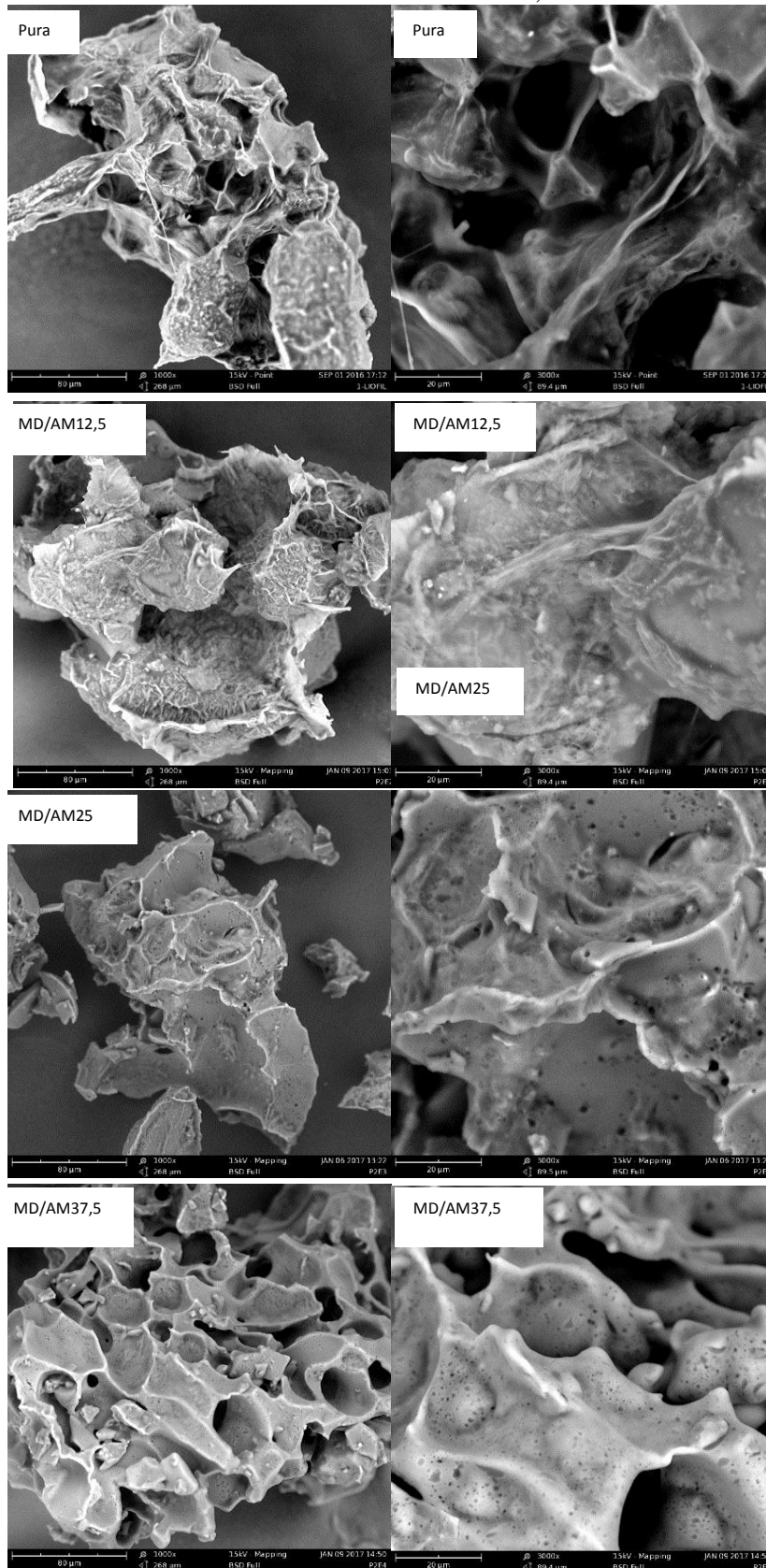


Figura 9 – Micrografias das amostras liofilizadas aumentadas 1000 vezes(esquerda) e 3000 vezes (direita): polpa integral pura; MD/AM12,5: polpa integral +12,5% maltodextrina+ 12,5% amido modificado; MD/AM25: polpa integral + 25% maltodextrina + 25% amido modificado; MD/AM37,5: polpa integral + 37,5% maltodextrina + 37,5% amido modificado.



Há de ser considerado que o material encapsulado foi completamente misturado e homogeneizado com o encapsulante e que o processo tecnológico de secagem empregado não permite a formação de cápsulas bem definidas, de tamanhos uniformes e formas regulares, como ocorre, por exemplo, na secagem por atomização. Os cristais de gelo formados no congelamento ajudam a manter a estrutura do material evitando o colapso, mas, ao serem sublimados, provocam na saída a formação de uma estrutura porosa. Deve-se considerar também que o processo de secagem extrai a maior parte da água, mas concentra os açúcares que favorecem a formação de estruturas amorfas em função da rápida remoção de água. A adição de encapsulantes contribui para amenizar esse problema devido ao maior peso molecular desses materiais, porém não define uma forma geométrica para os produtos liofilizados (ALVES et al., 2008).

O material seco em liofilizador é bem leve (baixa densidade) de aspecto esponjoso, quebradiço e precisa ser macerado para formar o pó. Pelas imagens, portanto, não é possível identificar cápsulas, mas partículas com aspecto quebradiço com o encapsulante completamente integrado ao encapsulado, e que sob o aspecto morfológico-estrutural para produtos liofilizados na presença de agentes encapsulantes é resultado semelhante ao encontrado por Caparino (2012), Sousa, Gurak e Marczak (2016) e Cano-Higuita, Malacrida e Telis (2015).

Yamashita et al. (2017) obtiveram estrutura semelhante ao microencapsularem antocianinas da casca de amora preta e relatam que os pós obtidos através do processo de secagem por liofilização com utilização da maltodextrina como agente encapsulante apresentaram morfologia irregular, típicas de produtos liofilizados.

É possível também verificar pelas micrografias que todos encapsulados apresentaram diferença na estrutura das superfícies das partículas formadas em relação ao pó obtido somente pela liofilização. Nas amostras que contêm encapsulantes podem-se observar claramente modificações na textura, que se apresenta mais lisa, ou seja, baixa rugosidade, indicando a aderência do encapsulante aos sólidos da polpa liofilizada. Fisicamente, não foi determinada a espessura das paredes e a densidade dos pós produzidos, mas é possível inferir que houve aumento desses parâmetros com o aumento da concentração dos encapsulantes, bem como não é possível identificar pelas micrografias obtidas qual dos encapsulantes ou associação destes conferiu maior proteção ou estrutura menos amorfa à polpa integral do murici.

5.3 Análise de compostos bioativos e oxidação lipídica

Os resultados experimentais encontrados para compostos bioativos (carotenoides totais e fenóis totais) e oxidação lipídica são apresentados na Tabela 5, acompanhados pela análise estatística. As demais análises estatísticas são mostradas no Apêndice B.

Tabela 6 - Resultados experimentais para compostos bioativos e oxidação lipídica do pó da polpa de murici adicionado com materiais de parede* (base úmida).

Amostra	Carotenoides Totais ($\mu\text{g/g}$)	Polifenóis Extratíveis Totais ($\text{mg GAE}/100\text{g}$)	Oxidação Lipídica (mEq/Kg)
Pura	$19,09 \pm 0,40^c$	$818,26 \pm 25,11^d$	$0,240 \pm 0,022^e$
MD25	$19,86 \pm 0,87^{bc}$	$1483,63 \pm 42,14^a$	$0,401 \pm 0,004^c$
MD50	$9,45 \pm 0,00^e$	$417,37 \pm 14,20^g$	$0,406 \pm 0,006^c$
MD75	$7,91 \pm 0,40^f$	$306,89 \pm 15,06^h$	$0,385 \pm 0,016^{cd}$
AM25	$45,87 \pm 0,11^a$	$726,15 \pm 3,42^e$	$0,238 \pm 0,003^e$
AM50	$10,60 \pm 0,19^{de}$	$1229,75 \pm 28,49^b$	$0,260 \pm 0,004^e$
AM75	$10,80 \pm 0,59^d$	$397,90 \pm 21,32^{gh}$	$0,333 \pm 0,002^d$
MD/AM12,5	$20,83 \pm 0,40^b$	$931,36 \pm 28,68^c$	$1,418 \pm 0,004^b$
MD/AM25	$3,09 \pm 0,48^g$	$530,81 \pm 12,35^f$	$1,620 \pm 0,048^a$
MD/AM37,5	$11,96 \pm 0,48^d$	$350,08 \pm 51,73^h$	$0,349 \pm 0,002^d$

* Média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes nas mesmas colunas indicam diferenças significativas entre as médias das amostras ($p < 0,05$).

5.3.1 Carotenoides totais

Os pós obtidos da polpa de murici encapsulada e liofilizada com maltodextrina (DE 10) e amido modificado (Hi-cap[®] 100), isolados ou combinados em diferentes concentrações, diferiram significativamente nos valores encontrados para carotenoides totais, sendo observado uma redução destes com o aumento da concentração do encapsulante, o que pode ser caracterizado como um efeito da diluição provocado pela presença dos materiais carreadores. As amostras com 25% do material de parede, independentemente do tipo ou combinação, foram as que apresentaram o maior teor deste grupo de compostos bioativos em relação ao pó obtido a partir da polpa integral sem o emprego de encapsulantes. Constatou-se também, maior preservação do conteúdo de carotenoides totais nas amostras em que o amido modificado estava presente.

Mariutti, Rodrigues e Mercadante (2013) encontraram $7,13 \mu\text{g/g}$ e $31,00 \mu\text{g/g}$ para carotenóides totais em frutos frescos de murici e na polpa liofilizada do murici, respectivamente empregando HPLC-DAD-APCI-MS/MS. Os mesmos autores (MARIUTTI;

RODRIGUES; MERCADANTE, 2016) quantificaram os carotenoides totais por HPLC-DAD no fruto do murici liofilizado e encontraram 55,9 $\mu\text{g/g}$ (massa seca), sem o emprego de materiais de parede. Silva e Silva (2016) relatam um quantitativo de 1,2 mg/100g do murici sem pele *in natura*. Moo-Huchin et al. (2013) encontraram 14,54 mg β -caroteno/100g (massa úmida) para carotenoides totais na polpa de murici.

SOUZA et al. (2012) encontraram, em frutos, valores para carotenoides totais de 1,25 mg β -caroteno. 100^{-1}g (base úmida); 0,93 mg β -caroteno. 100^{-1}g (base úmida); 1,21 mg β -caroteno. 100^{-1}g (base úmida); 0,57 mg β -caroteno. 100^{-1}g (base úmida); 1,31 mg β -caroteno. 100^{-1}g (base úmida) para Murici (*Birsonima Crassifolia* L.RICH), jenipapo(*Genipa americana*), Graviola (*annonna muricata* L.), araticum ou marolo(*Annona crassiflora*), maracujá doce (*Passiflora alata Dryand*) respectivamente. Rufino et al. (2010) encontraram na polpa de murici 1,1 mg/100 g (base úmida) de carotenoides totais.

Verifica-se que, embora os valores obtidos para carotenoides totais neste trabalho tenham sido diferentes dos encontrados na literatura, estão em quantitativo importante e significativo, devendo ser destacado que, na maioria das vezes, o fruto ou a polpa de murici, foi liofilizado sem o emprego de materiais de parede e que neste trabalho houve a incorporação da maltodextrina e do amido modificado, isolados ou associados, o que verificou-se ter sido mais eficiente em termos de retenção de carotenoides em MD25, AM 25 e MD/AM12,5.

Pagani et al. (2011) empregaram *spray dryer* para secar suco de acerola utilizando diferentes materiais de parede (entre os quais a maltodextrina, o amido modificado e o concentrado proteico de soja) e constataram que na formulação em que a maltodextrina e o amido modificado foram associados na proporção de 10% para cada um, houve maior retenção de carotenoides.

Os carotenoides totais representam todas as substâncias definidas como carotenoides, porém nem todas apresentam atividade antioxidante. Além disso, as diversas tecnologias de secagem provocam perdas, em maior ou menor escala e, dada a importância de tal conteúdo, a utilização de encapsulantes pode reduzir as perdas que ocorrem com o emprego da liofilização sem a presença de carreadores que segundo vários autores é a modalidade de secagem que melhor preserva os atributos sensoriais e nutricionais dos alimentos.

Em relação ao fruto *in natura* ou mesmo à polpa integral, os níveis de umidade são inferiores nos pós da polpa liofilizada, o que reduz a mobilidade molecular, além de dificultar reações de degradação dos carotenoides. Levando em conta a existência de insaturações neste grupo importante de substâncias químicas, a presença dos encapsulantes é uma boa alternativa

para minimizar os efeitos de reações degradativas que ocorrem com a exposição à luz, temperatura e oxidações.

5.3.2 *Polifenóis Extratíveis Totais*

Os resultados encontrados para polifenóis extratíveis totais nos pós da polpa de murici encapsulada e liofilizada com maltodextrina (DE 10) e amido modificado (Hi-cap[®] 100), isolados ou combinados em diferentes concentrações se encontram apresentados na Tabela 6. Os dados obtidos indicam diferença significativa entre as médias dos valores para as amostras avaliadas.

Em geral foi observado que houve redução do teor de fenóis totais com o aumento da concentração do agente carreador utilizado, isolado ou combinado, ressaltando que menores teores de fenóis totais foram encontrados nas amostras em que a maltodextrina e o amido modificado foram associados. É possível inferir que tal redução advenha de um maior isolamento físico do composto bioativo em relação ao reagente Folin-Ciocalteu, já que a relação é direta, ou seja, quanto maior a concentração do encapsulante maior o isolamento e menor a disponibilidade do composto bioativo e menor a capacidade de reação deste com o meio externo, indicando que o material de parede atuou de forma efetiva na proteção dos compostos de interesse particular.

Há variações nos teores de compostos fenólicos totais nas amostras dos pós avaliados, o que pode estar relacionado também aos diferentes teores de umidade e reações degradativas, bem como à presença de compostos não fenólicos como os carotenoides, açúcares, aminoácidos e vitamina C que não foram totalmente removidos nas extrações e que reagem com Folin-Ciocalteu.

As perdas referentes aos compostos fenólicos, geralmente estão relacionadas à oxidação enzimática, não enzimática e exposição à luz, então se ocorre o isolamento do composto bioativo tem-se a redução das perdas.

É possível verificar que o emprego dos encapsulantes permitiu a preservação de quantidades significativas de compostos fenólicos totais nos pós da polpa de murici em relação ao valor encontrado na polpa integral liofilizada sem o uso de agentes carreadores.

Os valores para compostos fenólicos obtidos neste trabalho são compatíveis com os encontrados por Negrão-Murakami (2017) para fenóis totais expressos com base no ácido clorogênico equivalente (mg/CAE/ml): 10,27; 10,28; 10,17 respectivamente para maltodextrinas DE 10, DE 15 e DE 20, ao estudarem a influência do valor da DE da

maltodextrina nas propriedades físico-químicas do mate (*Ilex paraguariensis* A. ST. Hil.). Todavia, a conclusão desses autores é a de que os valores de DE não interferiram na concentração final dos fenóis totais, enquanto que neste trabalho foi observado que com o aumento da concentração do material de parede, isolado ou combinado, houve, em geral, relação direta com a redução da disponibilidade dos compostos fenólicos totais para as reações químicas que os quantificam, resultante da maior proteção oferecida pelos encapsulantes.

Souza et al. (2012) encontraram, em frutos, valores para fenóis totais de 334,37 mg GAE.100⁻¹g (base úmida); 47,94 mg GAE.100⁻¹g (base úmida); 281,00 mg GAE.100⁻¹g (base úmida); 739,37 mg GAE.100⁻¹g (base úmida); 245,36 mg GAE.100⁻¹g (base úmida) para Murici (*Birsonima Crassifolia* L. RICH), jenipapo (*Genipa americana*), Graviola (*annonna muricata* L.), araticum ou marolo (*Annona crassiflora*) e maracujá doce (*Passiflora alata Dryand*), respectivamente. Rufino et al. (2009) encontraram 937 mg/100 GAE g (base seca) de fenóis totais na polpa de murici. Os mesmos autores (RUFINO et al., 2010) encontraram 2380 mg/100 GAE g (base seca) de fenóis totais para o murici. Almeida et al. (2011) encontraram 159,9 mg GAE/100 g para fenóis totais na polpa de murici. Malta et al. (2013) encontraram no extrato do fruto de murici liofilizado o valor de 222,2 mg GAE/100 g (base úmida).

Ballesteros et al. (2017) encapsularam e liofilizaram extrato de pó de café utilizando maltodextrina DE20 e goma arábica, isolados e combinados, tendo encontrado, em mg GAE/100 ml, os valores de 216,37; 173,57 e 145,32 para compostos fenólicos com a utilização de maltodextrina, maltodextrina/goma arábica e goma arábica, respectivamente. Para o extrato do café em pó liofilizado sem o emprego do encapsulante foi encontrado 350,28 mg GAE/100ml. Os mesmos autores destacam que os melhores resultados foram encontrados quando a liofilização foi associada com o emprego da maltodextrina como material de revestimento e retenção dos compostos fenólicos em torno de 62%.

Da mesma forma, Yamashita et al. (2017) relatam melhores resultados para retenção de antocianinas presentes em amora preta obtidos através da encapsulação com maltodextrina DE10 do que com maltodextrina DE 20 e liofilização.

Souza, Gurak e Marczac (2017) encapsularam bagaço de jabuticaba ricos em antocianinas utilizando diferentes concentrações de maltodextrina, pectina e isolado proteico de soja como materiais de parede, empregando a liofilização como técnica de secagem, e encontraram 131,17 mg GAE /100 g (base seca) para polifenóis totais quando a maltodextrina foi empregada isolada no percentual de 20%.

5.3.3 *Oxidação lipídica*

Os valores encontrados para oxidação lipídica nos pós da polpa de murici encapsulada e liofilizada com maltodextrina (DE 10) e amido modificado (Hi-cap[®] 100), isolados ou combinados em diferentes concentrações também se encontram apresentados na Tabela 6. Os dados obtidos indicam diferenças significativas entre as médias dos valores para a maior parte das amostras avaliadas através desse parâmetro.

Levando em consideração o valor de oxidação lipídica encontrado para o pó da polpa integral (Pura) liofilizada sem o emprego de matérias de revestimento, verifica-se que, há diferença significativa entre as amostras em que foi empregada maltodextrina, mas internamente entre estas, com a variação na concentração de maltodextrina não houve diferença significativa. Já quando foi empregado o amido modificado, somente uma das três amostras (AM75), a com maior concentração apresentou diferença significativa. Nas amostras em que a houve a associação do maltodextrina com o amido modificado, houve diferença significativa entre as três concentrações avaliadas.

As diferenças apresentadas nos valores de oxidação lipídica das amostras avaliadas, seja quando foi empregado um material de revestimento isoladamente ou quando combinados mostram que houve mais degradação oxidativa nas amostras em que a maltodextrina estava associada ao amido modificado (MD/AM12,5 e MD/AM25) e as amostras em que somente o amido modificado estava presente foram as que menos sofreram oxidação lipídica, mesmo com a variação na concentração do encapsulante.

Deve ser considerado que os valores de oxidação lipídica encontrados para todas as amostras se encontram em níveis aceitáveis e que, durante o processo de encapsulação, ocorre incorporação de ar que, mesmo sendo retirado durante o processo de liofilização não inibiu completamente o processo oxidativo. Os ácidos graxos poli-insaturados não quantificados são os mais sensíveis a processos oxidativos uma vez que compostos fenólicos e carotenoides podem inibir a atividade de radicais livres gerados via processos oxidativos.

5.3.4 *Atividade antioxidante*

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para atividade antioxidante dos pós da polpa de murici liofilizada e encapsulada com diferentes carreadores, isolados ou combinados em proporções definidas e indicadas.

Tabela 7 - Resultados experimentais da atividade antioxidante do pó da polpa de murici adicionado com materiais de parede¹ (base úmida).

Amostra	DPPH ²	ABTS
	EC50(g pó/ g DPPH)	(μ M trolox/ g pó)
Pura	8090,38 \pm 1243,19 ^a	35,07 \pm 2,64 ^{ab}
MD25	3783,82 \pm 800,64 ^{bc}	45,64 \pm 9,79 ^a
MD50	3353,80 \pm 837,19 ^{bc}	26,36 \pm 4,41 ^{ab}
MD75	4322,39 \pm 166,85 ^{bc}	11,52 \pm 2,56 ^{bc}
AM25	2753,77 \pm 551,95 ^c	34,41 \pm 17,42 ^a
AM50	4158,86 \pm 820,41 ^{bc}	30,08 \pm 1,51 ^{abc}
AM75	5060,47 \pm 663,17 ^b	15,84 \pm 2,33 ^b
MD/AM12,5	3629,35 \pm 816,73 ^{bc}	25,65 \pm 2,13 ^{ab}
MD/AM25	4401,46 \pm 57,97 ^{bc}	10,75 \pm 6,67 ^{bc}
MD/AM37,5	3913,61 \pm 150,90 ^{bc}	15,05 \pm 0,86 ^b

¹Média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes nas mesmas colunas indiciam diferenças significativas entre as médias das amostras ($p < 0,05$).

²Pó desengordurado.

5.3.4.1 Atividade antioxidante por redução do radical 2,2-difenil-1picrilhidrazil (DPPH)

A avaliação da atividade antioxidante total por meio do radical livre DPPH, quando realizado o desengorduramento do pó com utilização de hexano, conforme Rufino (2008), mostra que há diferença significativa entre os valores para a atividade antioxidante encontrada quando do emprego dos encapsulantes isolados ou combinados. Considerando como indicador a amostra pura, que foi obtida por liofilização sem o emprego de carreadores, verifica-se valor alto para atividade antioxidante, todavia esta quantificação é feita com base no consumo de DPPH por cada grama de pó, o que significa que para o valor de EC50 (g pó/g DPPH) igual 8090,376 (base úmida), seriam necessários pouco mais 8 kg de pó da polpa liofilizada para ter o efeito antioxidante *in vitro* de 1 g do radical orgânico DPPH, o que é, de certa forma indicador de que o pó do murici desengordurado, sem a presença de encapsulantes e liofilizado, não apresenta uma atividade antioxidante alta, mas também pode indicar que houve perdas em termos dos compostos bioativos que contribuem para a atividade antioxidante, sejam carotenoides, compostos fenólicos e vitamina C (não quantificado), já que a mesma amostra sem desengordurar apresentou EC50 (g pó/g DPPH) igual 1575,430 (base úmida), o que daria, teoricamente uma capacidade antioxidante aproximadamente 5 vezes maior, valor expressivo quando comparado com EC50 (g pó/g DPPH) igual a 238 (base seca) obtido por Rufino et al. (2010) na polpa de murici *in natura*.

Nos pós desengordurados obtidos por encapsulação somente com maltodextrina (MD25, MD50, MD75), em diferentes concentrações, observou-se que não houve diferença significativa para a atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH entre as amostras avaliadas. Poderia haver diferença nos valores de DPPH, já que houve redução da quantidade de polpa encapsulada e aumento da concentração do material de parede, o que não ocorreu. O fato de aparecerem medidas de atividade antioxidante semelhantes neste conjunto de amostras pode estar relacionado a presença de compostos bioativos não quantificados neste trabalho e/ou indicar que a concentração do material de parede não interferiu na atividade antioxidante.

Quando o material de parede foi o amido modificado, nas amostras desengorduradas (AM25, AM50, AM75) verificou-se haver diferença significativa entre as amostras para a atividade antioxidante medida pela captura do radical livre DPPH, evidenciando uma redução da capacidade antioxidante com o aumento da concentração do encapsulante, mesmo que pareça o contrário pelos motivos já expostos acima. As mesmas amostras, sem desengordurar, apresentaram coerência de resultados no sentido de redução da atividade antioxidante com o aumento da concentração do encapsulante, mas são evidenciados resultados anômalos na comparação das médias para a atividade antioxidante.

Os resultados obtidos para a atividade antioxidante dos pós desengordurados em que houve a associação da maltodextrina e do amido modificado no processo de encapsulação e liofilização (MD/AM 12,5; MD/AM 25; MD37,5) indicam não ter havido diferença significativa entre os valores obtidos em termos de DPPH. Tal comportamento é semelhante ao observado quando somente a maltodextrina é empregada como material de revestimento, indicando que a proporção utilizada, 50% de cada encapsulante, não provocou impacto na atividade antioxidante.

5.3.4.2 Atividade antioxidante através da captura do radical 2,2'-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6 ácido sulfônico - ABTS)

De acordo com os dados apresentados na Tabela 7, os valores para a atividade antioxidante encontrados por meio da capacidade sequestrante do radical ABTS, expressos em μM trolox/g pó, verifica-se que houve diferença significativa na comparação das médias.

Tomando como referência a amostra pura, em que a polpa integral foi liofilizada sem o emprego de materiais de revestimento, as amostras encapsuladas somente com a maltodextrina e liofilizadas (MD25, MD50, MD75) apresentaram redução progressiva da

manifestação da atividade antioxidante com o aumento da concentração da maltodextrina, mesmo comportamento observado nas demais amostras nas quais foram empregados o amido modificado (AM25, AM50, AM75) e a associação da maltodextrina com o amido modificado (MD/AM12,5; MD/AM25; MD/AM37,5), embora o decréscimo da atividade antioxidante não tenha sido exatamente o mesmo valor, devendo ser notificado que a amostra MD/AM37,5 teve acréscimo na atividade antioxidante em relação às outras amostras de composição semelhante, diferenciando a concentração do material de parede. O comportamento descrito acima, que relaciona a capacidade antioxidante e os materiais encapsulantes, pode ser explicado como sendo da maior ou menor interação de natureza física sobre manifestações de natureza química, ou seja, a barreira física oferecida pelos encapsulantes contra a luz, oxigênio, calor, modificações de pH e outras condições adversas que acelerariam a degradação de compostos bioativos importantes e que teriam impacto na manifestação final da atividade antioxidante.

Por todo o exposto, há ainda de ser notado que, tanto na medida da atividade antioxidante por meio da captura do radical livre DPPH para as amostras desengorduradas, quanto pela captura do radical ABTS, ocorre decaimento da atividade antioxidante com o aumento da concentração do material de revestimento, não que tal redução tenha sido provocada pela presença do encapsulante, pois não ocorre reação química entre o núcleo e o revestimento, mas a diminuição é resultante da redução proporcional da concentração do material ativo encapsulado (efeito de diluição).

Verifica-se, portanto, o cumprimento efetivo da função esperada pelos encapsulantes na preservação e proteção dos componentes biologicamente ativos presentes nos pós da polpa de murici.

A atividade antioxidante encontrada só foi possível porque os compostos bioativos quantificados (carotenoides totais e fenóis totais) e não quantificados foram preservados através das tecnologias empregadas (encapsulação e liofilização). Azeredo (2005) relata que a encapsulação por liofilização resultou em menor degradação de β -caroteno durante o processo (8%), quando comparada à atomização (11%) e à secagem em tambor (14%), não ignorando o custo e o tempo do processo que limitam a aplicação comercial, o que é minimizado pela redução das perdas de cor, preservação da atividade biológica, aumento da estabilidade e inibição de atividade oxidativa indesejada.

Favaro-Trindade, Pinho e Rocha (2008), indicam que a encapsulação de licopeno através da liofilização junto com goma arábica e maltodextrina foi o tratamento que proporcionou melhor estabilidade ao carotenoide que é suscetível à isomerização e à

oxidação, contudo a ação protetora foi menor quando comparada à obtida para o licopeno presente na polpa de goiaba liofilizada.

Souza, Gurak e Marczac (2017) encapsularam bagaço de jabuticaba ricos em antocianinas utilizando diferentes concentrações de maltodextrina, pectina e isolado proteico de soja como materiais de parede empregando a liofilização como técnica de secagem e encontraram 253,15 mM TE / 100 g (base seca) para atividade antioxidante por meio da captura do radical ABTS quando a maltodextrina foi empregada isolada no percentual de 20%.

6 CONCLUSÕES GERAIS

A concentração ou a combinação dos encapsulantes alteraram as propriedades físicas (umidade, solubilidade, higroscopicidade e cor) avaliadas em relação ao produto liofilizado sem adição de materiais de parede.

As características dos pós produzidos se apresentaram em níveis próprios e aceitáveis para produtos liofilizados, com ampliação da possibilidade de aplicações devido à baixa umidade, maior solubilidade e menor higroscopicidade, embora tenha sido constatado diferenças entre os encapsulantes.

A análise pelo infravermelho (FTIR) confirmou a presença dos principais grupos químicos da polpa integral assim como permitiu a identificação dos grupos químicos dos agentes encapsulantes empregados, indicando a proteção física sem interações químicas entre os encapsulantes e a polpa integral de murici.

A caracterização morfológica mostrou, por meio da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), que os pós obtidos por encapsulação e liofilização apresentaram estrutura amorfa, com paredes lisas quando empregados encapsulantes, o que indica aderência do encapsulante nas partículas dos sólidos da polpa integral, conferindo proteção ao material encapsulado contra fatores externos de degradação.

Não houve interações químicas entre os compostos bioativos e os materiais de parede, com retenção de valores significativos de atividade antioxidante nos pós obtidos por encapsulação e liofilização.

Não houve perdas significativas em termos absolutos para carotenoides totais e fenóis totais, os quais mantiveram a atividade antioxidante em faixa de valores quantificáveis e significativos pela captura dos radicais orgânicos ABTS e DPPH.

A encapsulação com maltodextrina (isolada) combinou melhores valores de compostos bioativos e atividade antioxidante, seguida a combinação maltodextrina/amido modificado e amido modificado (isolado).

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1 – Estudo das isotermas;
- 2 – Estudo da temperatura de transição vítrea;
- 3 – Estudo da vida de prateleira;
- 4 – Aplicação do pó obtido na produção de um produto alimentício a ser definido, por exemplo uma bala, biscoito, “cookies”, etc.

REFERÊNCIAS

- ABADIO FINCO, F. D. B.; SILVA, I. G.; DE OLIVEIRA, R. B. **Physicochemical characteristics and antioxidant activity of three native fruits from Brazilian Savannah (cerrado)**. Revista Alimentos e Nutrição, Brazilian Journal of Food and Nutrition, abril-junho, v.23(2), p.179(7), 2012.
- ABOUL-ENEIN, H.Y; BERCCZYNSKI; KRUK, P.B.I. **Phenolic Compounds: the Role of Redox Regulation in Neurodegenerative Disease and Cancer**. Mini Reviews in Medicinal Chemistry 13(3) , 2013.
- ALEXANDER JR, Maltodextrins. **Production, properties and application**. In: Starch Hydrolysis Products. Schenck EW, Hebeda RE. VCH Publishers (New York), 233-275.1992
- ALIBAS, I. **Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying**. Biosystems Engineering, v. 96 (4), p. 495 -502, 2007.
- ALIBAS, I. **Microwave, vacuum, and air drying characteristics of collard leaves**. Drying Technology, v. 27(11), p. 1266-1273, 2009.
- ALMEIDA, M. M. B., SOUSA, P. H. M.; ARRIAGA, A. M. C.; PRADO, G. M.; MAGALHÃES, C. E. C.; MAIA, G. A.; LEMOS, T. L. G. **Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil**. Food Research International, v. 44, 2155– 2159, 2011.
- ALVES, C. C. O.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; PRADO, M. E. T. **Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenoides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, v. 28(4), p.830-839, out.- dez. 2008.
- ALVES, G. L.; FRANCO, M. R. B. **Headspace gas chromatography-mass spectrometry of volatile compounds in murici**. Journal of Chromatography A, 985,n.4, p.297-301, 2003.
- ALVES, R. E; BRITO, E. A; RUFINO, M. S. M; SAMPAIO, C. G. **Antioxidant activity measurement in tropical fruits: A case study with acerola**. Acta Horticulturae, 773,299-305.2008.
- ANDRIGUETO, J.R.; NASSER, L.C.B.; TEIXEIRA, J.M.A. **Produção integrada de frutas: conceito, histórico e evolução para o Sistema agropecuário de produção integrada-SAPI**, 2010.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington, 1997.
- ARAÚJO, Júlio Maria Andrade. **Química de Alimentos: teoria e prática**. 6.ed. Viçosa, MG: UFV, 2015.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F.E.X. **Influência da pressão, temperatura e pré-tratamentos na secagem a vácuo de cenoura e abóbora.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, 25 (4): 636-643, out-dez.2005.

ARUOMA, O. I., SPENCER, J. P., WARREN, D., JENNER, P., BUTLER, J., & HALLIWELL, B. **Characterization of food antioxidants, illustrated using commercial garlic and ginger preparatins.** *Food Chemistry*, v. 60, n.2, p. 149-156, 1997.

AZEREDO, H.M.C. **Encapsulation: applications to food technology.** *Alim. Nutr.*, Araraquara. V.16, n.1, p.89-97, jan.mar.2005.

BAE, E.K; LEE,S.J. **Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrina.***Journal of Microencapsulation*, 25:8, 549-560 p. 2008.

BAE, G. U.; SEO, D. W.; KWON, H. K.; LEE, H. Y.; HONG, S.; LEE, Z.W.; HA, K. S.; LEE, H.W.; HAN, J. W. **Hydrogen peroxide activates p70(S6k) signaling pathway.** *Journal of Biological Chemistry*. nov.12; 274(46):32596-602, 1999.

BALLESTEROS, Lina F.; RAMIRES, Monica J.; ORREGO, Carlos E.; TEIXEIRA, José A.; MUSSATTO, Solange I. **Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials.** *Food Chemistry*, 237(2017)623-631.

BENASSI, M.T.; ANTUNES, A.J.A **Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables.** *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v.31, n.4, p. 507 – 513, 1988.

BHANDARI, B.R. **Stickiness and Caking in Food Preservation.** In: RAHMAN, M.S. *Handbook of Food Preservation*, p. 387-401, 2007.

BHANDARI, B.R.; SENOUSI, A.; DUMOULIN, E.D.; LEBERT, A. **Spray drying of concentrated fruit juices.** *Drying Technology*, v.11, n.5, p.1081-1092, 1993.

BOUDET, Alain-Michel. **Evolution and current status of research in phenolic compounds.** *Phytochemistry*, v. 68, n. 22, p. 2722-2735, 2007.

BRAND-WILLIAMS, Wendy; CUVELIER, Marie-Elisabeth; BERSET, C. L. W. T. **Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity.** *LWT-Food science and Technology*, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL, Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Byrsonima in Flora do Brasil 2020 em construção.** Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB8827>>. Acesso em: 08 Out. 2017

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução-CNNPA nº12, de 24/07/1978- Dispõe sobre normas técnicas especiais.** Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/12_78.htm . Acesso em 10 de julho de 2016.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Alimentos Regionais Brasileiros** .2 ed. Brasília, DF, p.62.2005.

BRASIL. **MINISTERIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA.** Instrução Normativa No 01 de 07 de Janeiro de 2000.

BRASIL. **Portaria Interministerial MMA/MAPA/MDA/MF/MP nº1**, de 09 de junho de 2014. Diário Oficial da União. Seção 1. nº 109 de 10 de junho de 2014.p 61.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. **The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract.** Food and bioproducts processing. 91,539-548, 2013.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M.T. **Caracterização físico-química de Polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre.** Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal – SP, v.32, n. 4, p. 1196-1205,2010.

CAPARINO, O.A., et al. **Effect of dring methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) poder.** Journal of Food Engineering. 111. 135-148, 2012.

CARNEIRO H. C. F., TONON, R. V., GROSSO, C. R. F., HUBINGER, M. D . **Encapsulation efficiency and oxidate stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using diferente combinations of wall materials.** Journal of Food Engineering.115 (2013) 443-451.

CAVALCANTE, Carlos Eliardo Barros; RODRIGUES, Sueli; AFONSO, Marcos Rodrigues Amorim; COSTA; José Maria Correia. **Evaluation of the drying parameters of soursop pulp powder obtained by drying in a spray dryer.** Braz. J. Food Tecnol., v.20, e2016015, 2017.

CEREDA, M. P. et al. **Propriedades gerais do amido.** São Paulo, Fundação Cargill, 221 p. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino-americanas, v. 1, 2001.

CHITARRA , M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manejo.** 2 ed. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005.

CONAB. **Novos produtos extrativistas, como murici e pinhão, podem entrar na PGPM-Bio.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/imprensa-noticia.php?id=21201>. Acesso em 06 jun. 2016.

CRAFT, N.E.;WISE,S.A.;SOARES,J.H. **Individual carotenoid content of SRM 1548 total diet and influence of storage temperature, lyophilization, and irradiation on dietary carotenoids** J. Agric. Food Chem., 1993, 41 (2), pp 208–213

DA SILVA, P. M. C.; NEVES, C. N.; BASTOS, V. J; LIMA, C. G. B.; ARAÚJO, K. G. M.; ROBERTO, S. R. **Harvesting period of murici (*Byrsonima crassifolia* Kunth) fruit in relation to physical and chemical parameters evaluated during fruit development.** Scientia Horticulturae, 200, p. 66-72, 2016.

DAG, Damla; KILERCIOGLU, Mete; OZTOP, Mecit Halil. **Physical and chemical characteristics of encapsulated goldenberry (Physalis peruviana L.) juice powder**. LWT – Food Science and Technology. 83. 86-94, 2017.

DANGLES, Olivier. **Antioxidant activity of plant phenols: chemical mechanisms and biological significance**. Current Organic Chemistry, v. 16, n. 6, p. 692-714, 2012.

DAWIDOWICZ, A. L.; WIANOWSKA, D.; OLSZOWY, M. **On practical problems in estimation of antioxidant activity of compounds by DPPH method (Problems in estimation of antioxidant activity)**. Food Chemistry, v. 131, n. 3, p. 1037-1043, 2012.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L.P. **Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas**. Ciência Rural, Santa Maria, 2009.

DI MAMBRO, V. M.; MARQUELE, F. D.; FONSECA, M. J. V. **Avaliação in vitro da ação antioxidante em formulações antienvhecimento**. Cosmetics & Toiletries, p. 74-78, 2005.

DONADIO, L. C.; MORO, F. V.; SERVIDONE, A. A. **Frutas brasileiras**. Editora Novos Talentos, Jaboticabal, SP, 2002.

DRÖGE, W. **Free radicals in the physiological control of cell function**. Physiological Reviews, Baltimore, v.82, n.1., p.47-95, 2002.

DUARTE, O. Nance (Byrsonima crassifolia (L.) Kunth. Postharvest biology and technology of tropical fruits. Mangosteen to white sapote. Wood head Publishing Series In : **Food Science, Technology and Nutrition**. Vol.4, number 209. 2011.

DUARTE-ALMEIDA, Joaquim Maurício et al. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema b-caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, 2006.

ESPÍN, Juan Carlos; GARCÍA-CONESA, María Teresa; TOMÁS-BARBERÁN, Francisco A. **Nutraceuticals: facts and fiction**. Phytochemistry, v. 68, n. 22, p. 2986-3008, 2007.

FANG, Z., BHANDARI, B. **Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice**. Food Res. Int. 48 (2), 478–483, 2012.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. **Revisão: microencapsulação de ingredientes alimentícios**. Brazilian Journal Food Technology v.11, n.2, p.103-112, abr./jun.2008.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2.ed. Artmed. Porto Alegre, 2006.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S; PARKIN, K.L. **Química de Alimentos de Fennema**. Editora Artmed, 900p, 2010.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; DE AGUIRRE, J.M. **Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder**. Drying Technology, v.30, n.2, p. 154-163, 2012.

FERRARI, C. C; GERMER, S. P. M.; DE AGUIRRE, J. M. **Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador**. Brazilian Journal of Food Technology. Campinas, v.15, n.2.p.157-165, abr./jun.2012.

FERREIRA, M. G. R. **Murici (*Byrsonima crassifolia*, (L) Rich)**. Publicações Embrapa Rondônia, 2005.

GANGWAR, Mayank et al. **Antioxidant capacity and radical scavenging effect of polyphenol rich *Mallotus philippinensis* fruit extract on human erythrocytes: an in vitro study**. The Scientific World Journal, v. 2014, 2014.

GAVA, A. Jaime et al. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Nobel. 2008.

GHARSALLAOURI, A. ROUDART, G. CHAMBIN, O. VOLLEY, A.; SAUREL, R. **Aplications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview**. Food Research International, v.40, p. 1107-1121,2007.

GORDON, A., JUNGFER, E., SILVA, B.A., MAIA, J.G.S., MARX, F. **Phenolic constituents and antioxidant capacity of four underutilized fruits from the Amazon region**. Journal of Agricultural and Food Chemistry 59, 7688–7699,2011.

GUILHON-SIMPLÍCIO, F; PEREIRA, M.M. **Aspectos químicos e farmacológicos de *Byrsonima* (Malpighiaceae)**. Química Nova,34,1032-1041.2011.

GUIMARÃES, M. M.; SILVA, M. S. **Valor nutricional e características químicas e físicas de frutos de murici-passa (*Byrsonima verbascifolia*)**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 28(4):817-821, out. – dez. 2008.

GUSMÃO, E.; VIEIRA, F.A.; FONSECA JÚNIOR, E. M. **Biometria de frutos e endocarpo de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich.ex.A. Juss)**. Revista Cerne, v.12, n.1, p. 84-91,2006.

HALLIWELL, B. **Antioxidants in human health and disease**. Annual Review of Nutrition, v.16. p.33-50, 1996.

HEINRICH, M.; ANKLI, A.; FREI, B; WEIMANN, C; STICHER, O. **Medicinal plants in México : healers' consensus and cultural importance**. [Social Science & Medicine](#). v.47, p. 1859-1871. 1998.

HOLLMAN, Peter C. H. **Evidence for health benefits of plant phenols: local or systemic effects**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 81, n. 9, p. 842-852, 2001.

IBGE. Estudo Nacional da despesa familiar. **Tabelas de composição de Alimentos**, 5. ed. Rio de Janeiro, 137 p.,1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Físico-Químicos para análise de alimentos.4ed(1ed digital)**. São Paulo: IAL, 2008.p.1020.

JOSHI, A. P. K.; RUPASINGHE, H. P. V.; KHANIZADEH, S. **Impact of drying processes on bioactive phenolics, vitamin c and antioxidant capacity of red-fleshed apple slices.** Journal of Food Processing. and Preservation. 35(4), 453-457. 2011.

KRINSKY, Norman I. **The biological properties of carotenoids.** Pure and Applied Chemistry, v. 66, n. 5, p. 1003-1010, 1994.

KRISHNAIAH, D.; BONO, A.; SARBATLY, R.; NITHYANANDAM, R.; ANISUZZAMAN, S. M. **Optimisation of spray drying operating conditions of *Morinda citrifolia* L. fruit extract using response surface methodology.** Journal of King Saud University – Engineering Sciences, 2012.

KUSKOSKI, E.M.; ASUERO, A.G.; TRONCOSO, A.M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. **Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos.** Rev. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.25(4), p726, Campinas, SP, 2005.

LAGO, R. C. A.; MAIA, M.L.L.; MATTA, V.M. **O sabor das frutas tropicais no Brasil.** Embrapa, Brasília, DF , 49 p., 2016.

LAHMAR, I et al. **Nutritional composition and phytochemical , antioxidative, and antifungal activities of *Pergularia tomentosa* L.** BioMed Research International, v.2017: 6903817, Mar,2017.

LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. **Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidante activity of red grape pomace peels.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. v.45,p.1390-1393.1977.

LOURENÇO, I. P.; FIGUEIREDO, R.W.; ALVES, R.E.; ARAGÃO, F.A.S. de; MOURA, C.F.H. **Caracterização de frutos de genótipos de muricizeiros cultivados no litoral cearense.** Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 3, p. 499-504, jul-set, 2013, Fortaleza, CE.

MALACRIDA, Cassia Roberta; FERREIRA, Sungil; ZUANON, Larrissa Angélica Cireli; TELIS, Vania Regina Nicoletti. **Freeze-drying for microencapsulation of turmeric oleoresin using modifield starch and gelatin.** Journal of Food Processing and Preservation. 39. 1710-1719, 2015.

MALTA, L. G.; TESSARO, E. P.; EBERLIN, M.; PASTORE, G. M.; LIU, R. H. **Assessment of antioxidant and antiproliferative activities and the identification of phenolic compounds of exotic Brazilian fruits.** Food research International, 53, p.417-425, 2013.

MAMEDE, M.C.H.; FRANCENER, A. **2015 Byrsonima in Lista de Espécies da Flora do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB8827>>. Acesso em : 12 out. 2017

MANHÃES, L.R.T.; SABAA-SRUR, A.U.O. **Centesimal composition and bioactive compounds in fruits of buriti collected in Pará.** Rev. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2011, Vol.31(4), p.856.

MARIUTTI, L. R. B.; RODRIGUES, E.; CHISTÉ, R. C.; FERNANDES, E.; MERCADANTE, A. Z. **The Amazonian fruit *Byrsonima crassifolia* effectively scavenges reactive oxygen and nitrogen species and protects human erythrocytes against oxidative damage.** Food Research International 64, p. 618-625, 2014.

MARIUTTI, L.R.B.; PEREIRA, D.M.; MERCADANTE, A.Z.; VALENTÃO, P.; TEIXEIRA, N.; ANDRADE, P.B. **Further insights on the carotenoid profile of the echinoderm *Marthasterias glacialis* L.** Marine Drugs 10, 1498–1510, 2012.

MARIUTTI, L.R.B.; RODRIGUES, E.; MERCADANTE, A.Z. **Carotenóides of *Byrsonima crassifolia*: Identification, quantification and *in vitro* scavening capacity against peroxyl radicals.** Journal of Food Composition and Analysis, 31,155-160.2013.

MARTÍNEZ-VÁSQUEZ, M., GONZÁLEZ-ESQUINCA, A.R., CAZARES-LUNA, M., MORENO-GUTIÉRREZ, M.N., GARCÍA-ARGÁEZ, A.N. **Antimicrobial activity of *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.** Journal of Ethnopharmacology 66, 79–82,1999.

MIKULIC-PETKOVSEK, M.; [RESCIC, J.](#); SCHMITZER, V.; STAMPAR, F.; SLATNAR, A.; KORON, D.; VEBERIC, R. **Changes in fruit quality parameters of four *Ribes* species during ripening.** [Food Chemistry](#). Vol. 173, 15,p 363–374, abril. 2015.

Miyazaki, M. R., et al. **Recent advances in application of modified starches for breadmaking.** Trends in Food Science and Technology, 17: 591-599, 2006.

MOBOT, Missouri Botanical Garden, W3MOST. 2010 Disponível em: <http://www.mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>; Acesso em : 15 janeiro 2017

MOO-HUCHIN, Víctor M.; ESTRADA-MOTA, Ivan; ESTRADA-LEÓN, Raciél; CUEVAS-GLODY, Luis; ORTIZ-VÁZQUEZ, Elizabeth; VARGAS, María de Lourdes Vargas y; BETANCUR-ANCONA, David; SAURI-DUCH, Enrique. **Determinacion of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico.** Food Chemistry, 152, 2014, 508-515.

MORALES, C.; GÓMEZ-ERRNILLOS, M. P.; IGLESIAS, I.; VILAR DEL FRESNO, A.M. **Neuropharmacological profile of ethnomedicinal plants of Guatemala.** Journal Ethnopharmacology, v. 76. P. 223-228, 2001.

MOSER, Poliana; SOUZA, Reginaldo Teodoro de; TELIS, Vânia Regina Nicoletti. **SPRAY drying of grape juice from hybrid cv. brs violeta: microencapsulation of anthocyanins using protein/maltodextrina blends as drying aids.** Journal of Food Processing and Preservation. 41. 1-11, 2017.

MOURA, E. G. de, (Org). **Agroambientes de transição, entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil.** Atributos, alterações, uso na produção familiar. São Luís, Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, 2004.

MURAKAMI, D.M.; BIZÃO, N.; VIEIRA, R.D. **Quebra de dormência de sementes de murici.** Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 33, n.4, p.1257-1265, 2011.

NEGRÃO-MURAKAMI, Aureanna N; NUNES, Graciele L.; PINTO, Stephanie S.; MURAKAMI, Fabio S.; AMANTE, Edna R.; PETRUS, José Carlos Cunha; PRUDÊNCIO, Elane S.; AMBONI, Renata D.M.C. **Influence of DE-value of maldextrin on the physicochemical properties, antioxidante activity, and storage stability of spray dried concetrated mat (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.).** LWT – Food Science and Tecnology 79. 2017, 561-567.

NIELSEN, S. Suzanne et al. (Ed.). **Food analysis.** New York: Springer, 2010.

OBANDA, M.; OWUOR, P. O. **Flavonol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas.** Journal of Science Food Agriculture, 74, 209-215.1997.

OKSANA, Sytar et al. **Plant phenolic compounds for food, pharmaceutical and cosmetics production.** Journal of Medicinal Plants Research, v. 6, n. 13, p. 2526-2539, 2012.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. **Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores.** Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v.16, n.4,p. 310-318, out/dez. 2013.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A. **Tecnologia de Alimentos.** Vol. 1, Componentes dos Alimentos e Processos. Porto Alegre: Artmed, 2005.

PAGANI , Monica Marques; CONSTANT, L.S.; NOGUEIRA, Regina Isabel; TONON, Renata Valeriano; ROCHA-LEÃO, Maria Helena M.; CABRAL, LOURDES, Maria Correa. **Estabilidade de Microcápsulas de acerola produzidas com diferentes agentes encapsulantes.**

CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA DE ALIMENTOS, 8., 2011, Lima. **Llave de la inovacion.** Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/houdle/doc/917037>>. Acessado em 09/08/2017.

PARK, YOUNG W. **Effect of freezing, thawing, drying, and cooking on carotene retention in carrots, broccoli and spinach.** Journal of Food Science, v. 52, n. 4, p. 1022-1025, 1987.

PARR, Adrian J.; BOLWELL, G. Paul. Phenols in the plant and in man. **The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile.** Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 80, n. 7, p. 985-1012, 2000.

PARTANEN, R.; RAULA J, SEPPÄNEN, R.; BUCHERT, J.; KAUPPINEN,E.; FORSELL, P. **Effect of Relative Humidity on Oxidation of Flaxseed Oil in Spray Dried Whey Protein Emulsions.** *J. Agric. Food Chem.*, 56 (14), pp 5717–5722, 2008.

PEREZ-GUTIERREZ, R. M.; MUNIZ-RAMIREZ, A.; GOMEZ, Y.G.; RAMÍREZ, E.B. **Antihyperglycemic, antihyperlipidemic and antiglycation effects of *Byrsonima crassifolia* fruit and seed in normal and streptozotocin-induced diabetic rats.** Plant Foods for Human Nutrition 65, 350–357, 2010.

RATTI, C. **Freeze drying of plant products: where we are and where are heading to.** Stewart Post-harvest. Rev. 4, p.5-12.2005.

RATTI, C. **Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review.** Journal of Food Engineering, 49, 311–319.2001.

RÉ, M. I. **Cápsulas inteligentes.** Ciência Hoje, v. 27, n. 162, p. 24-29, 2000.

RÉ, M. I. **Microencapsulation by spray drying.** Drying Technology, v. 16, n. 6, p. 1195-1236, 1998.

REZENDE, C. M.; FRAGA, S. R. **Chemical and aroma determination of pulp and seeds of murici (*Byrsonima crassifolia* L.)** Journal Brazilian Chemistry Society, v.14, p.425-428, 2003.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, A. G. **Química de Alimentos.** São Paulo: Edgard Blücher: Instituto Mauá de Tecnologia. p.184, 2004.

RIGHETTO, A. M.; NETTO, F. M. **Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola.** International Journal of Food Properties, 8: 337-246, 2005.

RODRIGUES, Daniele Bobrowski; MARIUTTI, Lilian Regina Barros; MERCADANTE, Adriana Zerlotti. **An in vitro digestion method adapted for carotenoids and carotenoid esters: moving forward towards standardization.** Food e Function, 2016, 7, 4992-5001.

RODRIGUES-AMAYA, D.B. **A Guide to Carotenoid Analysis in Food.** Washington: International Life Sciences Institute (ILSI) Press, 1999, 64 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes brasileiras de carotenóides – Tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos.** Ministério do Meio Ambiente, 2008..

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B (1993). **Nature and distribution of carotenoids in foods.** In Charalambous G (ed), **Shelflife studies of foods and beverages.** Chemical, biological, physical and nutritional aspects. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp 547-589.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações.** In: Jornada Científica da Fazu/Faculdades Associadas de Uberaba, **Anais...** Uberaba, 2006.

ROSSO, Veridiana Vera de. **Bioactivities of Brazilian Fruits and the Antioxidant Potential of Tropical Biomes.** Food and Public Health, 2013, 3(1), 37-51.

ROWE, R. C.; SHESKEY, P. J.; OWEN, S. C. **Handbook of pharmaceutical excipients.** London, Pharmaceutical Press, 2006

RUFINO, M. S. M; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; PÉREZ-JIMÈNEZ, J; SAURA-CALIXTO, F. D; MANCINE-FILHO, Jorge. **Bioactive compounds and antioxidante capacities of 18 non -tradicional tropical fruits from Brasil.** Food Chemistry, 121(2010)996-1002.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP)**. Fortaleza: **Comunicado Técnico 125 da Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza, 2006.

RUFINO, M. S. M.; FERNANDES, F. A. N.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. **Free radical scavenging behavior of some North-east Brazilian fruits in DPPH system**. Food Chemistry, 114, 693–695.2009.

RUFINO, M. S. M; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; PÉREZ-GIMÉNEZ, Jara.; SAURA-CALIXTO, Fugencio; MANCINE-FILHO, Jorge. **Bioactive compounds and antioxidante capacities of 18 non-tradicional tropical fruits from Brazil**. Food Chemistry. 121 (2010)996-1002.

RUFINO, M. S. M; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-GIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Comunicado Técnico 127 da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2007.

SAGAR, V.R.; SURESH KUMAR, P. **Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review**. Journal of Food Science & Technology, 47(1), p. 15-26, 2010.

SÁNCHEZ-MORENO, C.; LARRAURI, J. A.; SAURACALIXTO, F. **A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 76, n. 2, p. 270-276, 1998.

SANTOS, C. M. et al. **Atividade antioxidante de frutos de quatro cultivares de pessegueiro**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 339-344, 2013.

SILVA, J.; FREIXO, R.; GIBBS, P.; TEIXEIRA, P. **Spray-drying for the production of dried cultures**. International Journal of Dairy Technology, 64, 321–335. 2011.

SILVA, Luis Rodrigues da; SILVA, Branca. **Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables as Health Promoters**. Part I. Bentham Science Publisher – Sharjah, UAE, 2016.

SILVÉRIO, D. V.; FERNANDES-BULHÃO, C. **Fenologia reprodutiva e biometria de frutos e sementes de três espécies de *Byrsonima Rich. ex Kunth* (Malpighiaceae) no Parque do Bacaba, Nova Xavantina - Mato Grosso**. Revista de Biologia Neotropical, v. 6, n. 1, p. 55-73, 2009.

SOUZA, Ana Cardinale Pereira; GURAK, Poliana Deyse; MARCZAK, Ligia Damasceno Ferreira. **Maltodextrin, pectin and soy protein isolate as carrier agentes in the encapsulation of anthocyanins-rich extract from jaboticaba pomace**. Food and Bioproducts Processing. 102, 2017, 186-194.

SOUZA, P. M.; ELIAS, S. T.; SIMEONI, L. A.; PAULA, J. E.; GOMES, S. M.; GUERRA, E. N. S.; FONSECA, Y. M.; SILVA, E. C.; SILVEIRA, D.; MAGALHÃES, P. O. **Plants**

from Brazilian cerrado with potent tyrosinase inhibitory activity. Plos One, Cambridge, v.7, n.11, p.1-7, 2012a.

SOUZA, Volnei Brito; THOMAZINE, Marcelo; BALIEIRO, Julio César de Carvalho; FAVARO-TRINDADE, Carmen Siva. **Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*).** Food and Bioproducts Processing, 93, 39-50. 2015.

SOUZA, Vanessa Rios de, Patrícia Aparecida Pimenta Pereira, Fabiana Queiroz, Soraia Vilela Borges, João de Deus Souza Carneiro. **Determination of Bioactive Compounds, Antioxidant Activity and Chemical Composition of Cerrado Brazilian Fruits.** Food Chemistry, 134, 1, 381-386, 2012.

ŠUMIĆ, Z.; TEPIĆ, A.; VIDOVIĆ, S.; JOKIĆ, S.; MALBAŠA, R. **Optimization of frozen sour cherries vacuum drying process.** Food Chemistry, 136, 55–63.2013.

ŠUMIĆ, Z.; VAKULA, A.; TEPIĆ, A.; ČAKAREVIĆ, J.; VITAS, J.; PAVLIĆ, B. **Modeling and optimization of red currants vacuum drying process by response surface methodology (RSM).** Food chemistry, 203, 465-475, 2016.

TACO-Tabela brasileira de composição de alimentos/NEPA-UNICAMP. 2 ed. Campinas, SP, 2006.

THAIPONG, K. et al. **Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts.** Journal of Food Composition and Analysis, v. 19, p. 669-675, 2006.

TOMÁS-BARBERÁN, Francisco A.; ESPIN, Juan Carlos. **Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables.** Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 81, n. 9, p. 853-876, 2001.

TONON, R.V., BRABET, C., HUBINGER, M.D. **Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried (*Euterpeoleraceae* Mart.) juice produced with different carrier agentes.** Food Research International. Amsterdam, v.43, p. 907-914, 2010.

UEKANE, Tais M.; NICOLOTTI, Luca; GRIGLIONE, Alessandra; BIZZO, Humberto R.; RUBIOLO, Carlo Bicchi; ROCHA-LEÃO, Maria Helena M.; REZENDE, Claudia M. **Studies on the volatile fraction composition of three native Amazonian-Brazilian fruits: Murici (*Byrsonima crassifolia* L., *Malpighiaceae*), bacuri(*Platonia insignis* M., *Celastraceae*), and sapodilla (*Manilkara sapote* L., *Sapotaceae*).** Food Chemistry 219, 2017, 13-22.

VIEIRA, L. M.; SOUSA, M. S. B. ; MANCINI - FILHO, J. ; DE LIMA, A. **Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de polpas de frutos tropicais.Total phenolics and antioxidant capacity "in vitro" of tropical fruit pulps.** Revista Brasileira de Fruticultura, vol.33(3), p.888(10), 2010.

YAHIA, E. M. The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. In:

ROSA, L. A; ALVAREZ-PARILLA, E; GONZALEZ-AGUILARA, G. A. **Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability**. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2010.

YAMASHITA, C., Chung M.M.S, dos Santos, C., MAYER, C.R.M., MORAES, I.C.F., BRANCO, I.G. **Microencapsulation of an anthocyanin-riche blackberry (*Rubus spp.*) by-product extract by freeze-drying**, *LWT. Food Science and Technology* (2017), doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.063.

APÊNDICE

APENDICE A– Ensaio Preliminares de Secagem da Polpa de Murici

RESUMO

A secagem de polpas e sucos, bem como de outros derivados líquidos ou pastosos de frutos, é um processo complexo, se apresentando como um desafio devido, não somente ao conteúdo aquoso desses substratos, mas também em relação aos componentes e/ou às substâncias dos quais se deseja preservar a atividade química, biológica, sensorial e nutricional, e ainda em relação às propriedades físico-químicas que se manifestam após a secagem, as quais podem ser exemplificadas pela pegajosidade e elevada higroscopicidade dos pós resultantes, ocasionando problemas de manipulação e danos à qualidade do produto. Uma alternativa para minimizar tais problemas e otimizar o processo de secagem é a adição de agentes carreadores, os quais também possuem a função de encapsulantes. O uso de agentes carreadores para a produção da polpa de murici na forma de pó torna-se também importante para preservar componentes nutricionais com capacidade bioativa e propriedades nutricionais importantes para a manutenção e regulação de atividades vitais. Deste modo, o presente estudo objetivou obter dados sobre a secagem da polpa de murici através de diferentes técnicas (atomização, liofilização e a vácuo), empregando a maltodextrina como agente encapsulante. Na secagem por atomização da fração sobrenadante da polpa de murici, os menores valores de umidade, solubilidade e rendimento do processo foram obtidos nas maiores temperaturas do ar de secagem. A concentração do encapsulante teve maior influência na determinação final da cor dos pós obtidos na secagem por atomização. Na secagem por liofilização, mantidas as mesmas condições operacionais para todos os ensaios, os valores de umidade foram inferiores a 5%, limite máximo permitido para alimentos liofilizados em pó. A presença do encapsulante provocou redução nos valores da umidade e aumento nos valores de solubilidade. As cores dos pós produzidos por liofilização sofreram influência da adição do encapsulante, todavia para todas as coordenadas cromáticas avaliadas os valores indicaram maior tendência para a cor amarela do que os pós produzidos por atomização. Na secagem a vácuo o aumento no tempo de secagem para ensaios de mesma composição causou a diminuição da umidade, todavia os pós obtidos apresentaram-se menos solúveis e mais escuros do que os obtidos por atomização e liofilização.

Palavras chave: murici, secagem por atomização, liofilização, secagem a vácuo, encapsulação.

1 MATERIAL E MÉTODOS

1.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS PARA SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO EM SPRAY DRYER

Foram definidas as seguintes condições para a secagem por atomização: temperatura do ar de secagem entre 156 e 180 °C, vazão de alimentação 0,5 L/h, porcentagem do carreador em relação à amostra entre 26% e 40%.

As respostas avaliadas foram: umidade das microcápsulas, rendimento do processo, solubilidade e os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , C^* e h^* .

1.2 ADIÇÃO DO MATERIAL ENCAPSULANTE

Utilizou-se como encapsulante a maltodextrina MOR-REX[®] 1910 (Corn Products, Brasil). As quantidades do sobrenadante da polpa (Sp) e agente carreador foram previamente determinadas de modo a resultar em 60/40; 70/30 e 74/26 g de sólidos totais provenientes do sobrenadante da polpa /g de agente carreador. O encapsulante foi adicionado na forma pura.

O encapsulante foi adicionado ao sobrenadante nas quantidades definidas, resultando em uma massa total de 100 g, a qual foi homogeneizada em ultraturrax (IKA T25D, Staufen, Alemanha) por 5 minutos a 18000 rpm.

1.3 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (MICROENCAPSULAÇÃO)

As amostras foram submetidas a testes preliminares de secagem por atomização em um mini *spray dryer* (B-290, Büchi, Suíça) (Figura 1). O equipamento possui um bico atomizador com orifício de 0,7 mm de diâmetro, a pressão do compressor foi ajustada em 6 bar e a aspiração em 90%, a vazão de alimentação foi fixada em 0,5 L/h. As referidas condições utilizadas para a secagem variaram conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Condições experimentais dos ensaios de secagem em *spray dryer*.

Ensaio	Amostra	Temperatura do ar (°C)	Vazão de alimentação(L/h)	Proporção Sp:Md	Concentração total agentes carreadores (g/100g)
1	Sp60Md40	156	0,5	60:40	40
2	Sp70Md30	160	0,5	70:30	30
3	Sp74Md26	170	0,5	74:26	26
4	Sp70Md30	180	0,5	70:30	30

Sp:Md é a proporção do sobrenadante da polpa de murici em relação a maltodextrina.
Sp= sobrenadante da polpa; Md= maltodextrina.

Os pós produzidos foram acondicionados em embalagens de polietileno, seladas, protegidas da luz e armazenadas em dessecador com sílica gel para não absorver umidade do ambiente. A figura 1 mostra o equipamento utilizado na secagem por atomização.

Figura 1. *Spray dryer* utilizado na obtenção das microcápsulas.



Fonte: LIMA, FJC(2016)

1.4 LIOFILIZAÇÃO

Foram realizados testes preliminares de secagem por liofilização conforme descrito na Tabela 2. As formulações da polpa, bagaço, sobrenadante e agente carreador foram fixadas em 50% para cada componente da amostra nos casos em que foi utilizado o agente carreador, de forma a sempre preservar a mesma proporção sólido/sólido de cada constituinte da amostra.

As amostras foram congeladas a - 38°C por 24 horas e secas em liofilizador (L101, Liobrás, Brasil) (Figura 3.2) a temperatura \leq - 40°C (temperatura no compressor) por 48 horas. O material seco foi triturado utilizando almofariz, embalado em sacos de polietileno de baixa densidade, envolvido em papel alumínio para evitar a incidência de luz e estocado em dessecador a temperatura ambiente.

Tabela 2. Condições experimentais dos ensaios de secagem em liofilizador.

Ensaio	Amostra	Relação sólido/sólido	% encapsulante na amostra
1	Pi10Md00	1	0
2	Sp50Md50	1/1	50
3	Bg50Md50	1/1	50
4	Pi50Md50	1/1	50

Pi = polpa integral; Sp = Sobrenadante da polpa; Bg = Bagaço; Md = maltodextrina.

Figura 2. Liofilizador utilizado na obtenção das microcápsulas.



Fonte: LIMA, FJC(2016)

1.5 SECAGEM A VÁCUO

A secagem a vácuo foi conduzida em estufa a vácuo (modelo MA 030, marca Marconi, Piracicaba, Brasil) (Figura 3). As amostras foram colocadas em bandejas de forma a assegurar uma fina camada da mistura a ser submetida ao processo de secagem. A temperatura utilizada foi 60° C em tempos que variaram de 24 a 72 h sob vácuo de 100 mmHg. Ao final da secagem os pós foram moídos com auxílio de almofariz e pistilo, embalados em polietileno, envolvidos em papel alumínio e armazenados em dessecador para uso posterior.

Figura 3. Estufa a vácuo utilizada na obtenção das microcápsulas.



Fonte: LIMA, FJCL(2016)

1.6 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROCÁPSULAS

1.6.1 Medidas de cor

A cor das amostras foi avaliada em colorímetro Konica Minolta pelas medidas de transmitância e de claridade. Antes da realização da análise, o equipamento foi calibrado com as cores branco e preto padrão. Nesse sistema, L^* representa a claridade da cor, com variações desde 0 = preto até 100 = branco; a^* pode ter valores positivos (vermelho) ou negativos (verde) e b^* pode ter valores positivos (amarelo) ou negativos (azul). A cor pode ser expressa em termos de L^* , a^* e b^* a partir dos quais poderão ser avaliados a intensidade cromática (C^*), ângulo de tonalidade cromática (h^*) e as variações de cor pela diferença global de cor (ΔE) conforme equações abaixo:

$$\Delta E = [(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Em que o sub índice 0 indica o valor de referência, e quanto maior ΔE , maior a diferença de cor do produto processado em relação ao produto original.

$$h^* = \text{tg}^{-1} (b/a) \quad (2)$$

$$C^* = [(a^2) + (b^2)]^{1/2} \quad (3)$$

1.6.2 Solubilidade

A solubilidade das microcápsulas foi determinada de acordo com o método descrito por Eastman e Moore (1984), modificado por Cano-Chauca et al. (2005), em que 1 g de amostra foi adicionada a 100 mL de água destilada e agitada por 5 minutos. A solução foi transferida para uma centrífuga a 3000×g por 5 minutos. Uma alíquota de 20 mL do sobrenadante foi transferida para placa de Petri previamente tarada tendo, em seguida, sido aquecida em estufa a 105 °C por 5 horas. A porcentagem de solubilidade foi calculada por diferença de peso.

1.6.3 Análise dos resultados

Os resultados obtidos nas determinações analíticas, em triplicata, foram submetidos à comparação de médias realizada pelo teste de Tukey ao nível de 95%, com o auxílio do *Minitab Statistical Software 17* (State College, Pa., Minitab Inc.).

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 ENSAIOS DE SECAGEM EM *SPRAY DRYER*

Os resultados obtidos nos testes de secagem por atomização são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de secagem em *spray dryer*

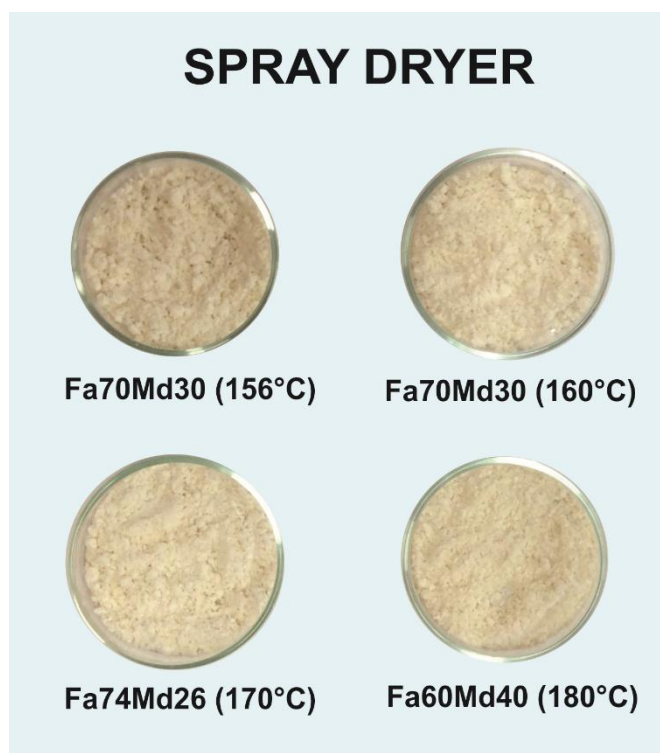
Ensaio	Temp. ar (°C)	Amostra	Umidade (% b.s.)	Rendimento (%)	Solubilidade (%)
1	156	Sp60Md40	5,13±0,337 ^{ab}	85,49	87,00±0,500 ^c
2	160	Sp70Md30	5,64±0,463 ^a	67,02	95,50±0,288 ^{ab}
3	170	Sp74Md26	3,03±0,039 ^c	72,48	99,00±0,577 ^a
4	180	Sp70Md30	4,55±0,638 ^b	77,17	94,00±2,843 ^b

Médias ± desvio padrão (n=3). Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.
Sp = Sobrenadante da polpa.

2.1.1 Teor de umidade

Os resultados da análise estatística dos dados experimentais de umidade obtidos na secagem da fração aquosa da polpa de murici são apresentados na Tabela 3. A Figura 4 mostra os pós resultantes do processo de secagem por *spray dryer*.

Figura 4. Microcápsulas resultantes do processo de secagem em *spray dryer*.



Fonte: LIMA, FJCL(2016)

Pela comparação das médias dos valores de umidade, os ensaios 1 e 2 não são significativamente diferentes assim como a amostra 1 e a amostra 4, mesmo que as condições operacionais em relação à temperatura e a concentração final do encapsulante tenham se diferenciado, indicando que, nesse primeiro momento, nos ensaios realizados, a temperatura operacional não foi o fator mais relevante na determinação da umidade final, não podendo ser afirmado, pelos resultados encontrados aqui, que a maiores temperaturas sempre levarão a produção de pós com menores teores de umidade, havendo de ser considerado, além das variáveis já mencionadas, a natureza do material a ser atomizado e possíveis combinações do encapsulante e do material a ser encapsulado, razão pela qual mais ensaios devem ser realizados com o intuito de verificar a real influência do ar de secagem na atomização da fração aquosa da polpa de murici.

No estudo da influência da temperatura do ar de secagem e da concentração do agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó, Tonon et al. (2009) encontraram valores de umidade que variaram de 0,66% a 2,56%, para temperaturas de ar de secagem diferentes, e verificaram que o aumento da temperatura levou à redução da umidade dos pós obtidos.

A mesma lógica de influência da temperatura do ar de secagem e da concentração do agente carreador sobre o produto final foi verificada por Ferrari (2012), quando da secagem por atomização da polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente encapsulante.

Em geral, os níveis de umidade encontrados nos ensaios realizados são relativamente baixos, o que dificulta o desenvolvimento e a multiplicação de microrganismos, bem como reações químicas e enzimáticas que afetam características sensoriais e nutricionais de produtos alimentícios.

2.1.2 Rendimento

Os valores experimentais de rendimento dos pós obtidos na secagem por atomização da fração aquosa (Fa) são apresentados na Tabela 3.

O rendimento do processo é uma resposta muito importante na indústria alimentícia, assim baixos rendimentos inviabilizam ou podem inviabilizar a obtenção de determinados produtos.

Nos ensaios realizados foram obtidos rendimentos que variaram de 67,02% a 85,49%, que em termos gerais são valores expressivos e que dão certa perspectiva de viabilização da secagem por atomização da fração aquosa da polpa de murici.

Valores de rendimento entre 45% e 82% foram encontrados por Fazaeli et al. (2012) para a secagem por atomização com associação da maltodextrina 6 DE e goma arábica. Há de ser considerado a influência da temperatura do ar de secagem e a concentração do encapsulante sobre o rendimento dos ensaios realizados, já que a velocidade do ar de secagem não sofreu variação.

Sobre a influência da temperatura do ar de secagem e concentração do encapsulante sobre o rendimento, verifica-se que o maior valor de rendimento se deu no ensaio 1, onde a temperatura do ar de secagem foi 156 °C com maior valor da concentração de maltodextrina (40 g/100 g).

O menor valor de rendimento no ensaio 2 foi obtido a 160 °C e concentração de encapsulante (30 g/100 g), indicando que o pequeno aumento de temperatura e a diminuição da concentração do encapsulante provocaram a redução no valor da resposta.

Os ensaios 3 e 4, com rendimentos intermediários, foram obtidos com temperaturas do ar de secagem de 170°C e 180°C e concentração do encapsulante 26 g/100g e 30 g/100g respectivamente.

Na comparação do ensaio 2 com o ensaio 4, em que ambos apresentaram a mesma concentração de maltodextrina, o aumento da temperatura teve efeito positivo no rendimento. Neste caso houve prevalência do efeito da temperatura sobre o rendimento, diferentemente do dado experimental do ensaio 1 indicando que a concentração do encapsulante teve prevalência sobre a temperatura.

No estudo dos efeitos das variáveis dos processos sobre o rendimento do pó na secagem de trealose em *spray dryer*, Maury et al. (2005) indicam que o rendimento do processo é incrementado pelo aumento da temperatura e que o aumento da vazão do líquido de alimentação ou diminuição da vazão do ar de atomização são prejudiciais para a recuperação do pó.

2.1.3 Solubilidade

Os resultados experimentais preliminares para solubilidade dos pós obtidos na secagem da fração aquosa da polpa de murici são apresentados na Tabela 3.

Valores semelhantes para solubilidade (90,37% a 91,01%) foram encontrados por Oliveira et al. (2013) quando do estudo da estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores, entre os quais a maltodextrina (5 DE e 10 DE), respectivamente. Nível de solubilidade da ordem de 87%, para uma mistura de maltodextrina 6 DE e goma arábica foram obtidos por Fazaeli et al. (2012), entendendo os autores que a temperatura de entrada do ar influencia negativamente a densidade do pó aumentando a solubilidade.

Os valores obtidos para solubilidade estão entre 87,85% e 99,00%, contudo, pela comparação das médias, verifica-se que os ensaios 2 e 3 não são significativamente diferentes, assim como os ensaios 2 e 4. O maior valor para solubilidade no ensaio 3 ocorreu em condições de menor concentração do agente encapsulante, da mesma forma que no ensaio 2 onde a concentração do encapsulante foi um pouco maior, mas na comparação das médias tem-se valores semelhantes na concentração do encapsulante, inclusive com o encontrado para o ensaio 4.

Verifica-se então que, se os valores para as concentrações do encapsulante e vazão de alimentação são semelhantes, dever-se-ia esperar que as diferenças nos valores encontrados para solubilidade deveriam residir nas diferenças de valores para temperatura do ar de secagem, o que foi verificado no ensaio 1, no qual pela comparação das médias, não houve

semelhança com os demais ensaios, podendo tal fato ser atribuído ao menor valor de temperatura do ar de secagem aplicado.

A solubilidade dos pós obtidos nestes ensaios pode estar relacionada à concentração de maltodextrina na amostra que, em geral, foi superior a 20%, sendo este um dos encapsulantes mais empregados no processo de secagem por atomização, devido às suas propriedades físicas, como alta solubilidade em água, não podendo ser negligenciada a temperatura do ar de secagem, uma vez que maiores valores de solubilidade ocorreram em maiores temperaturas do ar de secagem.

Os pós obtidos, em geral, apresentaram altos valores para solubilidade, desejável em sucos em pó, podendo este fato está relacionado à alta solubilidade da maltodextrina, o que possibilita aplicações como ingredientes em produtos alimentícios tais como bebidas e preparados para sobremesa instantânea.

2.1.4 Parâmetros de Cor

Os resultados experimentais preliminares da análise de cor dos pós obtidos na secagem da fração aquosa da polpa de murici são apresentados na Tabela 4. Em negrito, os índices destacados representam a comparação das médias.

Tabela 4. Resultados dos parâmetros de cor em secagem em *spray dryer*.

Ensaio	Temp.ar (°C)	Amostra	a*	b*	L*	C*	h*
1	156	Sp60Md40	0,27±0,005 ^a	10,84±0,015 ^a	89,29±0,032 ^d	10,84±0,073 ^a	88,59±0,050 ^a
2	160	Sp70Md30	0,24±0,020 ^a	8,82±0,064 ^c	92,36±0,010 ^b	8,83±0,066 ^c	88,45±0,100 ^a
3	170	Sp74Md26	0,24±0,010 ^a	7,85±0,035 ^d	92,91±0,026 ^a	7,86±0,036 ^d	88,27±0,070 ^b
4	180	Sp70Md30	0,24±0,005 ^a	8,91±0,032 ^b	92,00±0,017 ^c	8,91±0,032 ^b	88,47±0,046 ^a

Médias ± desvio padrão (n=3). Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes. Sp= sobrenadante da polpa; Md= maltodextrina

Os ensaios manifestaram valores positivos para parâmetro a*, e quando comparadas as médias dos valores desta mesma coordenada cromática não houve diferença significativa.

As amostras produzidas com diferentes concentrações e proporções de agente carreador, de acordo com a comparação dos valores das médias, apresentaram diferença

significativa entre si em relação ao valor de b^* . A fração aquosa da polpa de murici, quando transformada em pó, apresentou valores positivos de b^* , indicando uma coloração mais amarela para os maiores valores desta coordenada cromática. Os ensaios 2 e 4, apesar de apresentarem valores de b^* parecidos e mesma concentração do agente carreador, envolveram temperatura do ar de secagem diferentes, sendo o pó obtido no ensaio 4 a 180 °C e no ensaio 2 a 160 °C, o que não alterou significativamente a cor dos pós.

Já nos ensaios 1 e 3, além de haver diferença significativa na comparação dos valores das médias de b^* , houve também diferença na concentração do encapsulante e na temperatura do ar de secagem, o que pode ter determinado as diferenças individuais nos valores obtidos entre esses ensaios, embora, em termos gerais, os valores dessa coordenada cromática tenham sido positivos com a cor tendendo para o amarelo claro.

A concentração de carreador utilizada nos ensaios resultou em pós mais claros, isto é, com maiores valores para L^* . Apesar dos valores de L^* serem parecidos, a comparação das médias indica diferença significativa entre elas, o que pode ser relacionado à concentração do agente carreador na mistura submetida à secagem, como também à temperatura do ar de secagem.

Referente à temperatura do ar de secagem e sua influência sobre os valores de L^* , verifica-se que não há diferenças, uma vez que os ensaios foram realizados sob temperaturas que variaram entre 156 °C a 180 °C (Tabela 4) e que tal fato associado à concentração do encapsulante não modificou de forma acentuada os valores das médias. Observa-se que o pó obtido na menor temperatura e maior concentração de maltodextrina apresentou menor valor de L^* e o pó obtido em maior temperatura e menor concentração do agente carreador teve maior valor de L^* .

Há de ser observado que o ensaio 3, ocorreu a 170 °C com uma concentração de agente carreador parecida com a do ensaio 4, que ocorreu a 180 °C, mas que resultou numa diferença considerável no valor claridade (L^*). Os valores de C^* nestes ensaios variaram entre 8,91 e 10,84 os quais representam a intensidade cromática e quanto maior o seu valor, mais intensa a cor do produto. As amostras produzidas com diferentes concentrações e proporções de agente carreador, de acordo com a comparação dos valores das médias, apresentaram diferença significativa entre si em relação ao valor de C^* . Os ensaios 2 e 4, apesar de apresentarem valores de C^* parecidos e mesma concentração do agente carreador (Tabela 4), assim como mesma velocidade do ar de secagem, seus pós foram obtidos em condições de temperatura do ar de secagem diferentes, sendo o pó obtido no ensaio 4 a 180 °C e no ensaio 2

a 160 °C, o que não alterou individualmente os valores de C^* nesses ensaios, mas na comparação das médias houve diferença significativa, o que está indicado pelo diferença dos índices na Tabela 4, ou seja, a temperatura do ar de secagem influenciou a saturação da cor. Já nos ensaios 1 e 3, além de haver diferença significativa na comparação dos valores das médias de C^* , houve também diferença na concentração do encapsulante e na temperatura do ar de secagem, o que pode ter determinado as diferenças individuais nos valores obtidos entre esses ensaios, embora, em termos gerais, os valores desse parâmetro tenham sido positivos com a cor tendendo para o amarelo.

O ângulo de tonalidade cromática (h^*) não apresentou diferença significativa na comparação dos valores das médias em três dos quatro ensaios de obtenção de pós da fração aquosa da polpa de murici por atomização. No ensaio 3, em comparação com os demais, houve diferença, nos valores das médias. Como em geral, nos ensaios realizados, os valores das médias foram parecidos, pode ser afirmado que as variáveis do processo não interferiram, de forma determinante nos resultados obtidos para esta resposta cromática.

A cor é um atributo sensorial e a importância de sua determinação está em possíveis reflexos do processo de secagem e encapsulação no produto final que pode ser mais ou menos atraente em comparação com o produto in natura, o que de certa forma gera também impacto no preço do produto.

2.2 ENSAIOS DE SECAGEM POR LIOFILIZAÇÃO

Os resultados obtidos nos testes de secagem por liofilização são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados das análises dos ensaios de secagem por liofilização.

Ensaio	Amostra	Umidade (%b.s.)	Rendimento (%)	Solubilidade (%)	a*	b*	L*	C*	h*
1	Pi10Md00(T1)	2,96±0,051 ^b	83,865	36,50±0,500 ^d	8,65±0,030 ^a	47,74±0,056 ^a	68,31±0,017 ^d	48,52±0,0611 ^a	79,73±0,025 ^d
2	Sp50Md50(T2)	4,54±0,251 ^a	92,630	80,00±0,577 ^a	2,72±0,030 ^d	29,26±0,017 ^c	81,75±0,040 ^a	29,38±0,015 ^c	84,69±0,056 ^a
4	Bg50Md50(T3)	1,56±0,051 ^d	80,466	64,50±0,0288 ^c	4,29±0,005 ^b	39,93±0,035 ^b	76,64±0,017 ^c	40,16±0,035 ^b	82,87±0,005 ^c
4	Pi50Md50(T4)	1,92±0,050 ^c	64,204	71,50±1,154 ^b	2,96±0,005 ^c	28,97±0,052 ^d	81,00±0,015 ^b	29,12±0,052 ^d	84,17±0,017 ^b

Médias ± desvio padrão (n=3); Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes
Pi = Polpa integral; Sp = Sobrenadante da polpa; Bg = bagaço;

2.2.1 Teor de umidade

Os valores experimentais de umidade dos pós obtidos na secagem por liofilização da polpa integral de murici (Pi), da sobrenadante da polpa (Sp) e do bagaço (Bg) são apresentados na Tabela 5. Foram encontradas umidade que variaram entre 1,55% e 4,54% nos ensaios de secagem por liofilização da polpa integral de murici e suas frações utilizando maltodextrina como agente encapsulante. Para o pó da polpa de manga liofilizada, sem a adição de encapsulantes, foi encontrado o valor de 3,14%, já no estudo do açaí liofilizado foi encontrado 4,92% para umidade, considerados, pelos autores, dentro dos limites legais (MENEZES et al., 2008; MOREIRA et al., 2013), diferente de 10,67% de umidade encontrado por Menezes et al. (2009) para acerola liofilizada. Dados da literatura apontam que a redução da umidade em alimentos liofilizados para valores entre 2% a 8% como sendo o conteúdo de água mais fortemente ligado à estrutura do alimento e de certa forma limitador para eliminação completa, o que também não seria inteiramente desejável em virtude de outras propriedades alimentícias importantes em que a água deve estar presente (ORDÓÑEZ, 2005).

A maior umidade foi encontrada no ensaio 2, onde a mistura submetida a secagem foi constituída da fração aquosa e encapsulante em igual proporção sólido/sólido. Os dois outros ensaios apresentaram valores experimentais para umidade intermediários, com a diferença de que no ensaio 1 somente a polpa integral foi submetida ao processo de liofilização sem a presença do encapsulante, enquanto que no ensaio 4 a polpa integral está na mesma proporção da maltodextrina.

Quando comparadas as médias dos valores experimentais obtidos para umidade dos ensaios por liofilização, verifica-se que há diferença significativa o que pode ser atribuída à diferença de composição das amostras já apresentada acima, uma vez que não houve alteração das condições do processo.

O menor teor de umidade foi encontrado no ensaio 3, onde a amostra foi constituída em partes iguais (sólido/sólido) do bagaço (Bg) da polpa de murici e do encapsulante maltodextrina (Md) e tal mistura resultou em um pó com aspecto mostrado na Figura 5.

Figura 5. Aspecto dos pós obtidos por Liofilização.



Fonte: LIMA, FJC(2016)

Em geral, os pós obtidos através da secagem por liofilização apresentam baixa umidade, o que contribui para sua conservação e manutenção das características físicas e nutricionais por mais tempo com o mínimo de perdas decorrentes do tipo de processo de secagem.

Analisando os valores de umidade do processo de liofilização e sua relação com a composição da mistura, as formulações que apresentaram a maltodextrina na composição apresentaram menores valores de umidade, à exceção do ensaio 2 que apresentou maior valor de umidade.

A diferença no teor de umidade desse ensaio em relação aos demais pode ser explicada pelo conteúdo de água que é maior nessa fração e que mesmo na presença do encapsulante permaneceu acima dos demais.

Deve ser considerado que mesmo havendo diferença entre os valores médios para umidade nos ensaios de secagem realizados via processo de liofilização, todas as amostras apresentaram umidade em níveis aceitáveis e seguros para produtos em pó, comparáveis e até menores que os valores encontrados em outros processos de secagem, sendo relevante informar que pela Resolução – CNNPA nº 12, de 1978, da Agencia Nacional de Vigilância

Sanitária – ANVISA, estabelece o limite máximo para umidade em frutas liofilizadas em pó de 5% p/p (BRASIL, 2016).

2.2.2 Solubilidade

Os valores experimentais de solubilidade dos pós obtidos na secagem por liofilização da polpa integral de murici (Pi), da fração aquosa (Fa) e da fração residual (Fr) são apresentados na Tabela 3.5 e ficaram entre 36,50% e 80,00%, contudo, pela comparação das médias, todos os ensaios apresentam diferenças significativas nos valores das médias.

A solubilidade encontrada no ensaio 1 foi a menor, podendo este fato estar relacionado com a presença de conteúdo proteico e lipídico presente na polpa integral, uma vez que tais grupos são hidrofóbicos e preservados durante a liofilização, o que se reflete na menor capacidade de reidratação, devendo ainda ser lembrado que a forma como a água está distribuída e organizada no fruto e na polpa é desfeita no processo, pois ocorrem alterações irreversíveis na membrana celular vegetal durante o congelamento e, por conseguinte, ocorre uma diminuição na capacidade de retenção de água após a liofilização (SEMENOV et al., 2015).

O maior valor para solubilidade ocorreu no ensaio 2, que tem na formulação a mesma proporção solido/sólido da sobrenadante da polpa (Sp) e maltodextrina, podendo ser atribuído esse fato à presença do encapsulante, que reúne condições que favorecem a solubilidade do pó obtido, em vista de que no ensaio 1, onde o pó foi obtido a partir da secagem da polpa integral e na ausência do encapsulante, ocorreu a menor solubilidade média nos ensaios de secagem por liofilização.

Pode ser avaliado ainda que quando os ensaios de secagem são realizados combinando as mesmas proporções do bagaço e do encapsulante no ensaio 3 e da polpa integral com o encapsulante no ensaio 4, a solubilidade foi maior neste último ensaio, que se comparado com o ensaio 1 teve a solubilidade aumentada expressivamente por conta da presença do encapsulante, ausente na primeira formulação.

2.2.3 Parâmetros de cor

Os resultados experimentais obtidos para as medidas de cor dos ensaios de secagem realizados empregando o processo de liofilização são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados dos parâmetros de cor secagem por liofilização.

Ensaio	Amostra	a*	b*	L*	C*	h*
1	Pi10Md00(T1)	8,65±0,030 ^a	47,74±0,056 ^a	68,31±0,017 ^d	48,52±0,0611 ^a	79,73±0,025 ^d
2	Sp50Md50(T2)	2,72±0,030 ^d	29,26±0,017 ^c	81,75±0,040 ^a	29,38±0,015 ^c	84,69±0,056 ^a
3	Bg50Md50(T3)	4,29±0,005 ^b	39,93±0,035 ^b	76,64±0,017 ^c	40,16±0,035 ^b	82,87±0,005 ^c
4	Pi50Md50(T4)	2,96±0,005 ^c	28,97±0,052 ^d	81,00±0,015 ^b	29,12±0,052 ^d	84,17±0,017 ^b

Médias ± desvio padrão (n=3). Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes. Pi = Polpa integral; Sp = Sobrenadante da polpa; Bg = Bagaço

Os ensaios manifestaram valores positivos para parâmetro a*, indicando a tendência da coloração dos pós obtidos para a cor vermelha e, quando comparadas as médias dos valores desta coordenada cromática entre os ensaios houve diferença significativa. Os dados experimentais obtidos mostram que os pós são cromaticamente diferentes o que pode ser em decorrência da presença do encapsulante na amostra já que o maior valor de a* foi encontrado na ausência do encapsulante.

Deve ser considerado que, em termos de composição, cada ensaio origina um pó diferente, uma vez que, embora sejam as mesmas condições operacionais e mesma proporção sólido/sólido, o que tem-se é a polpa ou uma de suas frações e o encapsulante combinados em situações distintas.

Os pós produzidos a partir das diferentes amostras liofilizadas apresentaram valores de b* positivos entre 29,29 a 47,74, indicando uma coloração mais amarela para os maiores valores desta coordenada cromática. Como as condições operacionais não variaram pode ser afirmado que o fator determinante para as variações nos valores de b* foi a presença do encapsulante e se a amostra foi composta pela polpa integral ou uma de suas frações.

A presença do agente carreador nos ensaios resultou em pós com maior claridade a exceção do ensaio 1 que apresentou menor valor de L*, sendo dessa forma, o menos claro dos pós obtidos não sendo utilizada a maltodextrina na formulação dessa amostra. Os pós liofilizados com maltodextrina como agente carreador apresentaram valores de claridade que

indicam, para esse parâmetro, menor claridade do que os pós obtidos na secagem em *spray dryer*. A diferença nos valores individuais de L^* se refletiu na comparação das médias que apresentou diferença significativa entre elas, o que atribuímos a diferenças na formulação dos ensaios que mesmo apresentado a mesma proporção sólido/sólido dos componentes se originou da polpa integral ou de suas frações, uma vez que a concentração do agente carreador permaneceu inalterada.

Os valores de C^* nestes ensaios variaram entre 29,12 e 48,52 os quais representam a intensidade cromática e quanto maior o seu valor, mais intensa a cor do produto. As amostras produzidas com iguais concentrações e proporções de agente carreador, de acordo com a comparação dos valores das médias, apresentaram diferença significativa entre si em relação ao valor de C^* . A formulação do ensaio 3, que combina a maltodextrina e a fração residual da polpa de murici, apresentou valores de C^* que se aproximam mais dos encontrados para o ensaio 1, onde a polpa integral não foi combinada com o encapsulante, fazendo com que a intensidade da cor deste ensaio seja mais próxima da polpa integral e demonstrado que a adição do encapsulante reduz a intensidade cromática, embora possa trazer outros benefícios como a proteção de compostos bioativos. Os ensaios 2 e 4, apesar de apresentarem valores de C^* parecidos e mesma concentração do agente carreador, assim como as mesmas condições operacionais, apresentam médias comparativamente diferentes, mas na prática seus pós apresentam intensidade cromática semelhante.

Os dados obtidos para o ângulo de tonalidade cromática (h^*) variaram entre 79,73 e 84,69, sendo verificada diferença significativa na comparação dos valores das médias nos quatro ensaios para obtenção de pós a partir da combinação da polpa integral de murici e suas frações com a maltodextrina. Como a tonalidade está relacionada com os valores das coordenadas cromáticas a^* e b^* , logo modificações numa dessas variáveis da cor trazem desdobramentos no valor de h^* , e no caso do pós obtidos nos ensaios de liofilização, os valores de a^* e b^* avaliados conjuntamente indicam maior influência da coloração amarela.

2.3 ENSAIOS DE SECAGEM A VÁCUO

Os valores experimentais de umidade dos pós obtidos na secagem a vácuo da polpa integral de murici (Pi), do sobrenadante da polpa (Sp) e do bagaço (Bg) são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados das análises dos ensaios de secagem em estufa a vácuo

Ensaio	Amostra	Umidade (%b.s.)	Solubilidade (%)
1	Pi10Md00-T1-72	29,90±0,304 ^a	30,50±0,763 ^e
2	Bg50Md50-T3-24	4,71±0,830 ^b	57,50±0,500 ^c
3	Bg50Md50-T3-48	2,04±0,079 ^c	54,50±0,866 ^d
4	Pi50Md50-T4-24	4,22±0,174 ^b	65,50±0,866 ^b
5	Pi50Md50-T4-48	2,62±0,030 ^d	72,00±0,707 ^a

Médias ± desvio padrão (n=3);

2.3.1 Teor de umidade

Os ensaios de secagem a vácuo ocorreram em tempos que variaram entre 24 h e 72 h e os valores de umidade variaram entre 2,04% e 29,89%. Bezerra et al. (2011) obtiveram valores de umidade para secagem de manga Tommy Atkins e Rosa em estufa a vácuo que variaram de 13,98 % a 14,45% respectivamente, a um tempo de secagem de 18h e 61 °C, sem a utilização de encapsulante.

A Figura 6 mostra o aspecto geral dos pós obtidos nos ensaios de secagem a vácuo associada ao processo de encapsulação com maltodextrina nas mesmas proporções de sólidos da polpa ou fração da polpa e do encapsulante.

Figura 6 - Aspecto de pós obtidos por secagem a vácuo



Fonte: LIMA, FJC(2016)

O menor teor de umidade foi encontrado no ensaio 3, onde a amostra foi constituída em partes iguais (sólido/sólido) da fração residual (Fr) da polpa de murici e do encapsulante maltodextrina (Md) sendo que tal mistura resultou em um pó com aspecto mostrado na Figura 6.

Em geral os pós obtidos através da secagem a vácuo apresentaram baixa umidade, a exceção foi a umidade encontrada no ensaio 1, onde somente a polpa integral foi submetida à secagem sem a presença do encapsulante. Tal fato pode estar relacionado à retenção de água na estrutura fibrosa da polpa ou mesmo à formação de filme impermeabilizante na superfície porosa por onde deveria sair o vapor de água.

Os demais ensaios apresentaram média de umidade abaixo de 5%, nível comparável a outros processos de secagem o que contribui para sua conservação e manutenção das características físicas e nutricionais por mais tempo com o mínimo de perdas decorrentes do tipo de processo de secagem, além de não ser favorável para o desenvolvimento e a multiplicação de microrganismos.

Destacamos que mesmo tendo sido encontrados valores de médias para umidade comparáveis a outras tecnologias de secagem, tais médias quando comparadas entre si usando

o teste de Tukey e confiança de 95%, são significativamente diferentes, o que pode ser atribuído aos tempos de secagem e à própria composição da amostra.

No caso das diferenças nos tempos de secagem verifica-se nos ensaios realizados que maior tempo implicou em menor umidade numa relação direta, semelhantemente ao que ocorre nos ensaios em que o sobrenadante e a polpa integral estão associadas à maltodextrina.

Quanto à presença do encapsulante na composição das amostras, os dados experimentais obtidos a partir das amostras com maltodextrina apresentaram pós com menores valores para a resposta umidade, o que pode ser considerado um aspecto positivo em vista de que o ensaio onde somente a polpa integral foi submetida ao processo de secagem apresentou maiores valores de umidade.

2.3.2 Solubilidade

Os valores experimentais de solubilidade dos pós obtidos na secagem a vácuo da polpa integral de murici (Pi), da fração aquosa (Fa) e da fração residual (Fr) são apresentados na Tabela 7.

Os valores obtidos para solubilidade estão entre 30,50% e 72,00%, contudo, pela comparação das médias, todos os ensaios apresentam diferenças significativas nos valores das médias. O maior valor para solubilidade ocorreu no pó obtido a partir do ensaio 5, que tem na formulação a mesma proporção sólido/sólido polpa integral (Pi) e maltodextrina submetido ao processo de secagem por 48 h. Há de ser observado que o pó obtido a partir do ensaio 4 com composição da amostra similar à do ensaio 5, também apresentou valores médios de solubilidade superiores ao apresentado no ensaio 1, onde somente a Pi foi submetida ao processo de secagem na ausência do encapsulante, o qual potencializa a solubilidade do pó obtido.

Pode ser avaliado ainda que, quando os ensaios de secagem são realizados combinando as mesmas proporções da fração residual e do encapsulante nos ensaios 2 e 3, a solubilidade média foi menor no ensaio 2, não se repetindo o aumento da solubilidade como o aumento do tempo de secagem, podendo ter havido interação entre a fração residual e a maltodextrina diferente da que ocorreu entre a polpa integral e a maltodextrina.

2.3.3 Parâmetros de cor

Os resultados experimentais obtidos para as medidas de cor dos ensaios de secagem realizados em estufa a vácuo são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados dos parâmetros de cor dos ensaios de secagem em estufa a vácuo.

Ensaio	Amostra	a*	b*	L*	C*	h*
1	Pi10Md00-T1-72	11,49±0,075 ^a	50,76±0,112 ^a	59,05±0,017 ^e	52,05±0,124 ^a	77,24±0,066 ^e
2	Bg50Md50-T3-24	10,15±0,017 ^c	48,81±0,017 ^t	64,94±0,005 ^d	49,86±0,017 ^b	78,26±0,017 ^b
3	Bg50Md50-T3-48	9,96±0,023 ^d	45,30±0,020 ^e	66,16±0,011 ^b	46,38±0,025 ^e	77,59±0,020 ^c
4	Pi50Md50-T4-24	10,58±0,073 ^b	47,63±0,025 ^d	65,20±0,081 ^c	48,79±0,035 ^d	77,47±0,077 ^d
5	Pi50Md50-T4-48	9,56±0,040 ^e	48,40±0,045 ^c	66,57±0,015 ^a	49,34±0,041 ^c	78,81±0,041 ^a

Médias ± desvio padrão (n=3). Onde Pi = polpa integral; Bg = fração residual.

Todos os ensaios manifestaram valores positivos para parâmetro a*, indicando a tendência da coloração dos pós obtidos na secagem a vácuo para a cor vermelha para todos e, quando comparadas as médias dos valores desta coordenada cromática entre os ensaios houve diferença significativa, indicando que os pós são cromaticamente diferentes, o que pode ser em decorrência da presença do encapsulante na amostra, já que o maior valor de a* foi encontrado na ausência do encapsulante, diferentemente do que ocorreu nos demais ensaios. Pode ser entendido então que a presença do encapsulante provoca um efeito sobre esse componente da cor da polpa integral, reduzindo a tonalidade vermelha.

A temperatura permaneceu constante nos ensaios de secagem a vácuo, mas há de ser considerado que o tempo de exposição teve também efeito sobre a*, sobretudo porque ao se avaliar os dados da Tabela 8, verifica-se que quanto maior o tempo de secagem menores são os valores médios de a*. Não foi feito um número de ensaios suficientes para quantificar de forma inequívoca os efeitos da concentração do encapsulante e da temperatura sobre o parâmetro em análise, mas tem-se coerentes os dados que fundamentam os argumentos apresentados.

Os pós produzidos a partir das diferentes amostras secas na presença de vácuo apresentaram valores de b* positivos entre 45,30 a 50,76, indicando uma coloração mais amarela para os maiores valores desta coordenada cromática. Como as condições operacionais

não variaram, considera-se que o fator determinante para as variações nos valores de b^* foi a presença do encapsulante e se a amostra foi composta pela polpa integral ou uma de suas frações. O tempo de secagem associado à presença da maltodextrina provocaram redução nos valores médios de b^* nos pós obtidos nos ensaios 2 e 3, mas um pequeno aumento nos valores médios dessa coordenada cromática nos ensaios 4 e 5, os quais, quando comparados com o encontrado para o ensaio 1, são menores, devendo ser considerado que a comparação das médias dos valores de b^* usando o método de Tukey e confiança de 95% mostra diferenças significativas entre elas.

A presença do agente carreador utilizada nos ensaios resultou em pós com maior claridade, com exceção do ensaio 1 que apresentou menor valor de L^* , sendo dessa forma, o menos claro dos pós e no qual não foi utilizada a maltodextrina na formulação que lhe deu origem. Os resultados experimentais obtidos, mostram que do ensaio 2 ao 5, a presença do encapsulante e tempo de secagem influenciaram os valores de L^* , uma vez que uma mesma formulação submetida a tempos de secagens diferentes manifestou aumento nos valores de claridade que indicam, para esse parâmetro, uma cor menos clara do que pós obtidos em outros processos de secagem ou com altas concentrações de maltodextrina.

Os valores de C^* nestes ensaios variaram entre 46,38 e 52,05 os quais representam a intensidade cromática e quanto maior o seu valor, mais intensa a cor do produto, decorrente da maior saturação da cor. As amostras produzidas com iguais concentrações e proporções de agente carreador, de acordo com a comparação dos valores das médias usando o método de Tukey e confiança de 95%, apresentaram diferença significativa entre si em relação ao valor de C^* .

Observa-se que, quando comparada a formulação que não contém o encapsulante na composição e as formulações com o encapsulante, os valores de C^* diminuem, e entre os ensaios com o encapsulante na composição, variando o tempo de secagem varia também o valor da intensidade cromática: entre os ensaios 2 e 3 ocorreu redução da saturação da cor; já entre os ensaios 4 e 5 ocorreu leve aumento da saturação da cor. Considerando que relação sólido/sólido entre polpa integral e a maltodextrina, fração aquosa e fração residual e maltodextrina permaneceram constantes, observa-se a influência, embora não quantificada, do tempo de secagem sobre esse elemento da cor no processo de secagem á vácuo.

Os dados obtidos para o ângulo de tonalidade cromática (h^*) variaram entre 77,24 e 78,81, sendo verificada diferença significativa na comparação dos valores das médias nos cinco ensaios para obtenção de pós a partir da combinação da polpa integral de murici e suas frações com a maltodextrina. Uma vez que as condições operacionais e a proporção da

maltodextrina nos ensaios não foram alteradas e considerando a variação no tempo de secagem, verifica-se que não há uma influência direta e quantificável dessa variável na resposta tonalidade cromática. A tonalidade cromática está relacionada com os valores das coordenadas cromáticas a^* e b^* , logo modificações numa dessas variáveis da cor traz desdobramentos no valor de h^* . No caso do pós obtidos nos ensaios de secagem a vácuo, contudo, na avaliação geral observa-se maior influência da coloração amarela.

3 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados e discutidos conclui-se que na secagem em *spray dryer* as maiores temperaturas do ar de secagem influenciaram para obtenção de menores valores de umidade e maiores de rendimento, enquanto que maiores concentrações do agente carreador permitiram a formação de pós com parâmetros de cor que no conjunto indicam tons amarelo-claro.

Na secagem por liofilização, mantidas as mesmas condições operacionais para todos os ensaios, os valores de umidade são inferiores a 5%. A presença do encapsulante provoca redução nos valores da umidade. A solubilidade dos pós obtidos é maior nos ensaios onde a maltodextrina foi utilizada na formulação submetida ao processo de secagem. A análise dos parâmetros de cor indicou a prevalência de tonalidade amarela mais intensa que na secagem em *spray dryer*.

Na secagem a vácuo o aumento no tempo de secagem para ensaios de mesma composição causa diminuição da umidade. Na avaliação dos parâmetros da cor houve maior prevaência da cor a amarela sobre a vermelha.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Júlio Maria Andrade. **Química de Alimentos: teoria e prática**. 6.ed. Viçosa, MG: UFV, 2015.

BEZERRA, T.S.; COSTA, J.M.C.; AFONSO, M.R.A.; MAIA, G.A.; CLEMENTE, E. **Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó**. Revista Ceres, Viçosa, v.58, p.278-283, mai-jun, 2011.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução-CNNPA nº12, de 24/07/1978- Dispõe sobre normas técnicas especiais**. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/anvisaegis/resol/12_78.htm . Acesso em 10 de julho de 2016.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. **Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization**. Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 5, p. 420-428, 2005.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Embrapa Cerrados. Documentos 276. ISSN 1517-5111. Planaltina, DF, 2010.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold Water Soluble Granular Starch for Gelled Food Composition**. U.S. Patent 4465702, 14 ago. 1984.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, Z; ASHTARI, A.K.; OMID, M. **Effect of process conditions and carrier concentration for improving drying yield and other quality attributes of spray dried black mulberry (*Morus nigra*) juice**. International Journal of food Engineering, v.8, n.1, p. Article 8, 2012.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; DE AGUIRRE, J.M. **Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder**. Drying Technology, v.30, n.2, p. 154-163, 2012.

LEWICKI, P.P. **Desing of hot air drying for better foods**. Trends in Food Science Tecnology, Cambridge, v.17, p.153-163, 2006.

MAURY, M.; MURPHY, K.; KUMAR, S.; SHI, L.; LEE, G. **Effects of process variables on the powder yield of spray-dried thehalose on a laboratory spray-drier**. European Journal of Pharmaceutics and Biopha Maceutics. vol. 59(3) p. 565-573, abril, 2005.

MENEZES, E.M.S.; TORRES, A.T.; SRUR, A.U.S.; **Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) liofilizada**. Acta Amazonica vol.38 (2): 311-316, 2008.

MOREIRA, T. B., ROCHA, E. M. F. F., AFONSO, M. R. A., COSTA, J. M.C. **Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental. V.17,n.10, p.1093-1098, 2013. Campina Grande, PB.2013.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. **Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores**. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v.16, n.4,p. 310-318, out/dez. 2013.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A. **Tecnologia de Alimentos**. Vol. 1, Componentes dos Alimentos e Processos. Porto Alegre: Artmed, 2005.

SEMENOV, G. V; KRASNOVA, I. S. ; SUVOROV, O. A. ; SHUVALOVA, I. D. ; POSOKHOV, N. D. **Influence of freeze-drying on phytochemical properties of various fruit**. Biosciences Biotechnology Research Asia, vol. 12(2), 1311-1320, Agosto, 2015.

TEIXEIRA NETO, R.O.; QUAST, D.G.; Isotermas de adsorção de umidade : técnicas de obtenção e aplicações.In :JARDIM, D.C.P., GERMER, S.P.M. **Atividade de água em alimentos**. ITAL, Capítulo 6. Campinas, 1997.

TONON, R. V.; BRABET, C; HUBINGER, M. D. **Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 29 (2), p. 444-450, 2009.

APÊNDICE B – Análise Estatística

Tabela 1. Análise de multivariância para os resultados das análises físicas e químicas da polpa de murici adicionado com maltodextrina e amido modificado.

Propriedade	Componentes	S.Q	G.L	M.Q	Fator F	$p < 0,05$
Umidade	Polpa de murici	70,685	1	70,686	1001,840	0
	Maltodextrina	7,484	1	7,484	106,080	0
	Amido modificado	0,387	1	0,387	5,490	0,030
	Erro	1,411	20	0,070		
	Total	231,357	29			
Solubilidade	Polpa de murici	26,550	1	26,552	16,060	$7,000 \times 10^{-4}$
	Maltodextrina	232,760	1	232,760	140,820	0
	Amido modificado	204,600	1	204,600	123,780	0
	Erro	33,060	20	1,653		
	Total	7930,950	29			
Higroscopicidade	Polpa de murici	$4,000 \times 10^{-5}$	1	$4,000 \times 10^{-5}$	0,350	0,561
	Maltodextrina	$9,000 \times 10^{-5}$	1	$9,000 \times 10^{-5}$	0,740	0,399
	Amido modificado	$9,000 \times 10^{-5}$	1	$9,000 \times 10^{-5}$	0,090	0,770
	Erro	$2,310 \times 10^{-5}$	20	$1,200 \times 10^{-5}$		
	Total	$1,400 \times 10^{-5}$	29			
a	Polpa de murici	2,698	1	2,698	8894,530	$5,698 \times 10^{-28}$
	Maltodextrina	1,153	1	1,153	3801,760	$2,721 \times 10^{-24}$
	Amido modificado	0,745	1	0,745	2456,070	$2,091 \times 10^{-22}$
	Erro	0,006	20	$1,200 \times 10^{-5}$		
	Total	197,899	29			
b	Polpa de murici	21,390	1	21,386	15881,210	$1,747 \times 10^{-30}$
	Maltodextrina	63,250	1	63,250	46967,980	$3,440 \times 10^{-35}$
	Amido modificado	21,280	1	21,280	15802,000	$1,836 \times 10^{-30}$
	Erro	0,030	20	$1,300 \times 10^{-4}$		
	Total	2123,300	29	10,925		
L	Polpa de murici	10,930	1	24,825	19864,020	$1,868 \times 10^{-31}$
	Maltodextrina	24,830	1	5,057	45137,520	$5,118 \times 10^{-35}$
	Amido modificado	5,030	1	$5,000 \times 10^{-4}$	9194,560	$4,092 \times 10^{-28}$
	Erro	0,010	20			
	Total	1086,60	29			
C	Polpa de murici	22,660	1	22,660	15846,160	$1,786 \times 10^{-30}$
	Maltodextrina	64,130	1	64,125	44843,100	$5,464 \times 10^{-35}$
	Amido modificado	22,010	1	22,005	15388,260	$2,393 \times 10^{-30}$
	Erro	0,030	20	$1,400 \times 10^{-4}$		
	Total	2246,800	29			
H	Polpa de murici	5,782	1	5,782	7608,430	$2,707 \times 10^{-27}$
	Maltodextrina	0,429	1	0,429	565,010	$3,904 \times 10^{-16}$
	Amido modificado	0,320	1	0,320	421,230	$6,589 \times 10^{-15}$
	Erro	0,015	20	$7,600 \times 10^{-5}$		
	Total	212,053	29			

Continuação Tabela 1

Propriedade	Componentes	S.Q	G.L	M.Q	Fator F	$p < 0,05$
Carotenoides totais	Polpa de murici	1410,070	1	1410,070	6688,170	$9,791 \times 10^{-27}$
	Maltodextrina	777,150	1	777,150	3686,130	$3,699 \times 10^{-24}$
	Amido modificado	254,930	1	254,930	1209,190	$2,309 \times 10^{-19}$
	Erro	4,220	20	0,210		
	Total	3855,470	29			
Polifenóis totais	Polpa de murici	565107,100	1	565107,100	727,850	$3,338 \times 10^{-17}$
	Maltodextrina	586675,600	1	586675,600	755,630	$2,317 \times 10^{-17}$
	Amido modificado	1590701,900	1	1590701,900	2048,790	$1,262 \times 10^{-21}$
	Erro	15528,200	20			
	Total	4403892,900	29			
Oxidação lipídica	Polpa de murici	1,154	1	1,154	3726,000	$3,324 \times 10^{-24}$
	Maltodextrina	1,477	1	1,477	4767,110	$2,860 \times 10^{-25}$
	Amido modificado	1,110	1	1,110	3583,240	$4,903 \times 10^{-24}$
	Erro	0,006	20	$3,100 \times 10^{-5}$		
	Total	7,144	29			
DPPH	Polpa de murici	$1,205 \times 10^7$	1	$1,205 \times 10^7$	0,280	0,601
	Maltodextrina	$2,177 \times 10^7$	1	$2,177 \times 10^7$	0,510	0,484
	Amido modificado	$2,396 \times 10^7$	1	$2,396 \times 10^7$	0,560	0,463
	Erro	$8,554 \times 10^8$	20	$4,277 \times 10^7$		
	Total	$1,323 \times 10^9$	29			
DPPH (desengordurado)	Polpa de murici	$2,559 \times 10^7$	1	$2,659 \times 10^7$	52,90	0,000
	Maltodextrina	$3,237 \times 10^6$	1	$3,237 \times 10^6$	6,44	0,019
	Amido modificado	$4,651 \times 10^5$	1	$4,651 \times 10^5$	0,93	0,348
	Erro	$1,005 \times 10^7$	20	$5,026 \times 10^5$		
	Total	$6,737 \times 10^7$	29			
ABTS	Polpa de murici	1077,880	1	1077,880	21,990	$1,000 \times 10^{-4}$
	Maltodextrina	126,880	1	126,880	2,590	0,123
	Amido modificado	206,750	1	206,750	4,220	0,053
	Erro	980,200	20	49,010		
	Total	4820,330	29			

Tabela 2. Resultados dos modelos de ajuste das propriedades físicas e químicas do pó da polpa de murici com adição de agentes encapsulantes*.

Propriedade	Parâmetro	Valor do parâmetro	$p < 0,05$	R^2	MRE (%)
Umidade	<i>Intercepto</i>	2,960	---	0,994	3,072
	<i>M</i>	0,273	$7,014 \times 10^{-8}$		
	M^2	$5,183 \times 10^{-4}$	0,05		
	AM^2	$1,406 \times 10^{-3}$	$1,242 \times 10^{-10}$		
	<i>PM</i>	$-1,796 \times 10^{-2}$	$1,700 \times 10^{-18}$		
	$P \times AM$	$-6,768 \times 10^{-3}$	$3,434 \times 10^{-12}$		
	$P \times M \times AM$	$1,013 \times 10^{-4}$	$1,716 \times 10^{-8}$		
	$P^2 \times M$	$2,305 \times 10^{-4}$	$4,856 \times 10^{-20}$		
Solubilidade	<i>Intercepto</i>	100,830	---	0,961	4,593
	<i>P</i>	-0,637	$5,723 \times 10^{-17}$		
	$M \times AM$	$-1,697 \times 10^{-2}$	$1,367 \times 10^{-3}$		
	$P \times M \times AM$	$6,916 \times 10^{-4}$	$1,070 \times 10^{-4}$		
	$P^2 \times M$	$-1,259 \times 10^{-5}$	0,05		
Higroscopicidade	<i>Intercepto</i>	0,151	---	0,908	4,253
	M^2	$1,674 \times 10^{-5}$	0,001		
	AM^2	$4,552 \times 10^{-6}$	0,008		
	$P \times M$	$-7,025 \times 10^{-5}$	0,001		
	$P \times AM$	$9,318 \times 10^{-6}$	0,020		
	$M \times AM$	$-1,388 \times 10^{-5}$	0,050		
	$P \times M \times AM$	$9,315 \times 10^{-7}$	0,050		
	$P^2 \times M$	$8,171 \times 10^{-7}$	0,004		
<i>a</i>	<i>Intercepto</i>	3,799	---	0,988	5,099
	<i>P</i>	-0,258	$1,555 \times 10^{-4}$		
	<i>M</i>	0,110	0,003		
	P^2	$3,068 \times 10^{-3}$	$1,603 \times 10^{-6}$		
	M^2	$-1,185 \times 10^{-3}$	0,009		
	$P \times M \times AM$	$-4,400 \times 10^{-5}$	0,003		
	$P^2 \times M$	$2,420 \times 10^{-5}$	0,001		
	$P^2 \times AM$	$3,556 \times 10^{-5}$	$2,455 \times 10^{-6}$		
<i>b</i>	<i>Intercepto</i>	13,906	---	0,990	1,579
	<i>P</i>	0,439	$1,084 \times 10^{-7}$		
	<i>M</i>	-0,282	$4,633 \times 10^{-6}$		
	P^2	$-1,001 \times 10^{-3}$	0,036		
	$P \times M$	$1,483 \times 10^{-2}$	$1,590 \times 10^{-6}$		
	$M \times AM$	$7,126 \times 10^{-3}$	$2,545 \times 10^{-5}$		
	$P \times A \times AM$	$-3,320 \times 10^{-4}$	$9,957 \times 10^{-8}$		

	$P^2 \times M$	$-1,357 \times 10^{-4}$	$1,693 \times 10^{-5}$		
	<i>Intercepto</i>	90,890	---		
L	<i>P</i>	-0,235	$3,229 \times 10^{-17}$	0,957	1,403
	$P \times M$	$-6,328 \times 10^{-4}$	0,050		
	$P \times M \times AM$	$4,493 \times 10^{-5}$	0,046		

P: polpa de murici, *M*: Maltodextrina, *AM*: amido modificado. *Todos os parâmetros de ajuste do modelo foram obtidos através da seleção das variáveis com maior significância estatística sobre cada resposta ($p < 0,05$).

Continuação Tabela 2

Propriedade	Parâmetro	Valor do parâmetro	$p < 0,05$	R^2	MRE (%)
	<i>Intercepto</i>	13,744	---		
	<i>P</i>	0,349	$1,469 \times 10^{-16}$		
	<i>M</i>	-0,272	$1,355 \times 10^{-5}$		
C	$P \times M$	$1,535 \times 10^{-2}$	$1,272 \times 10^{-6}$	0,990	1,626
	$P \times AM$	$9,537 \times 10^{-4}$	0,050		
	$M \times AM$	$7,197 \times 10^{-3}$	$4,019 \times 10^{-5}$		
	$P \times M \times AM$	$-3,345 \times 10^{-4}$	$1,862 \times 10^{-7}$		
	$P^2 \times M$	$-1,306 \times 10^{-4}$	$4,955 \times 10^{-5}$		
	<i>Intercepto</i>	113,77	---		
	<i>P</i>	-0,340	$2,802 \times 10^{-5}$		
	<i>M</i>	-0,344	$2,586 \times 10^{-5}$		
	$A \times M^2$	$-2,750 \times 10^{-3}$	0,002		
H	$P \times M$	$4,526 \times 10^{-3}$	$1,189 \times 10^{-5}$	0,988	0,264
	$M \times AM$	$-4,035 \times 10^{-3}$	$9,768 \times 10^{-5}$		
	$P \times M \times AM$	$3,232 \times 10^{-5}$	0,047		
	$P^2 \times M$	$-5,445 \times 10^{-5}$	$4,176 \times 10^{-6}$		
	$P^2 \times AM$	$-4,090 \times 10^{-5}$	$1,466 \times 10^{-4}$		
	<i>Intercepto</i>	340,420	---		
	<i>P</i>	-3,202	$1,864 \times 10^{-10}$		
	<i>M</i>	-3,373	$8,659 \times 10^{-11}$		
Carotenóides totais	AM^2	$-2,111 \times 10^{-2}$	$7,155 \times 10^{-7}$	0,969	15,071
	$P \times AM$	$-9,320 \times 10^{-2}$	$2,817 \times 10^{-14}$		
	$P \times M \times AM$	$-7,525 \times 10^{-4}$	$1,251 \times 10^{-7}$		
	$P^2 \times AM$	$9,361 \times 10^{-4}$	$1,630 \times 10^{-13}$		
	<i>Intercepto</i>	986,300	---		
Polifenóis totais	<i>P</i>	162,400	$4,031 \times 10^{-13}$	0,994	3,487
	<i>M</i>	27,958	$4,614 \times 10^{-6}$		
	P^2	-1,639	$2,780 \times 10^{-7}$		

			16		
	AM^2	-0,472	$1,699 \times 10^{-10}$		
	$P \times M$	-3,811	$5,225 \times 10^{-20}$		
	$P \times M \times AM$	-0,019	$1,902 \times 10^{-12}$		
	$P^2 \times M$	0,0284	$9,965 \times 10^{-21}$		
	$P^2 \times AM$	-0,021	$5,843 \times 10^{-18}$		
	<i>Intercepto</i>	0,295	---		
	$M \times AM$	$-2,303 \times 10^{-3}$	$2,203 \times 10^{-14}$		
Oxidação lipídica	$P \times M \times AM$	$9,182 \times 10^{-5}$	$2,522 \times 10^{-16}$	0,951	15,084
	$P^2 \times M$	$1,219 \times 10^{-6}$	0,018		
	P^2	-0,873	0,050		
	AM^2	0,623	0,050		
	<i>Intercepto</i>	$8,456 \times 10^3$	---		
DPPH (desengordurado)	P	-197,870	$2,025 \times 10^{-5}$	0,891	20,586
	P^2	1,868	$4,247 \times 10^{-6}$		

P: polpa de murici, *M*: Maltodextrina, *AM*: amido modificado. *Todos os parâmetros de ajuste do modelo foram obtidos através da seleção das variáveis com maior significância estatística sobre cada resposta ($p < 0,05$).

Continuação Tabela 2

Propriedade	Parâmetro	Valor do parâmetro	$p < 0,05$	R^2	MRE (%)
	<i>Intercepto</i>	-16,319	---		
	P	1,369	$1,557 \times 10^{-4}$		
ABTS	P^2	$-8,400 \times 10^{-3}$	$2,855 \times 10^{-3}$	0,892	16,431
	$M \times AM$	$3,490 \times 10^{-2}$	$1,151 \times 10^{-3}$		
	$P \times M \times AM$	$-1,325 \times 10^{-3}$	$1,874 \times 10^{-4}$		

P: polpa de murici, *M*: Maltodextrina, *AM*: amido modificado. *Todos os parâmetros de ajuste do modelo foram obtidos através da seleção das variáveis com maior significância estatística sobre cada resposta ($p < 0,05$).